

Liikennevirta alemman nopeustason kaksikaistaisilla väylillä



Tielaitoksen
selvityksiä

18/1996

Helsinki 1996

Kehittämiskeskus

Tielaitoksen selvityksiä
18/1996

Åsa Enberg, Juha Hietanen

Liikennevirta alemman nopeustason kaksikaistaisilla väylillä

Tielaitos
Kehittämiskeskus

Helsinki 1996

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-202-7
TIEL 3200387
Oy Edita Ab
Helsinki 1997

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallintopalvelut,
painotuotemyynti
Telefax 0204 44 2202

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde 0204 44 150

Enberg, Åsa ja Hietanen, Juha: Liikennevirta alemman nopeustason kaksikaistaisilla väylillä. [Trafikflödet på tvåfältsvägar med lägre hastighet, Traffic Flow on Low-Speed Two-Lane Roads in Finland]. Helsinki 1996. Tielaitos, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 18/1996. 49 s. + liitt. 10 s., TIEL 3200387, ISBN 951-426-202-7, ISSN 0788-3722.

Aiheluokka: 00, 21

Asiasanat: liikennevirta, nopeus, jonoutuminen

Tiivistelmä

Tämä raportti on yhteenveto tutkimustyöstä, jonka tarkoituksena oli selvittää alemman nopeustason kaksikaististen väylien liikennevirran perusominaisuuksia sekä kehittää sopivia mittausmenetelmiä ja palvelutasomittareita näitä väyliä varten. Alemman nopeustason väylät ovat tiemäisiä tai taajamatyypisiä kaksikaistaisia ja kaksisuuntaisia väyliä, joiden nopeusrajoitus on 40, 50 tai 60 km/h ja joiden liikennevirtaa ei ole katkaistu liikennevaloilla.

Tutkimuskohteiksi otettiin pääkaupunkiseudulta kuusi vilkkaasti liikennöityä (liikennemäärä 10 000–21 000 ajon/vrk) väylää, joilla ei ole liikennevaloliittymiä muualla kuin tutkimusalueen molemmissa päissä. Kenttämittaukset tehtiin lokakuussa 1994 sekä touko–kesäkuussa 1995. Jokaisessa kohteessa tehtiin yksi aamuruuhka-, yksi päivä- ja yksi iltapäiväruuhkamittaus. Pääasiallisina tutkimusmenetelminä käytettiin pistekohtaisia liikenneanalyysointimittauksia, tiejaksokohtaisia rekisteritunnustutkimuksia ja liikennevirrassa mukana ajaen tehtyjä ajoanalyysointimittauksia. Kaikki käytetyt mittausmenetelmät osoittautuivat käyttökelpoisiksi alemman nopeustason väylien liikennevirratutkimuksia varten. Tulokset olivat käyttökelpoisia ja menetelmät täydensivät toisiaan. Menetelmiä on syytä käyttää rinnakkain, sillä mikään niistä ei pysty kokonaan korvaamaan toisia.

Liikennemäärän vaihteluväli mittausten aikana oli 128–1 360 ajon/h/suunta. Ruuhkaliikenteessä havaitut suunnittaiset maksimiliikennemäärät olivat tutkimuskohteesta riippuen 764–1 360 ajon/h. Pistenopeuksista lasketut keskinopeudet laskivat hitaasti liikennemäärän kasvaessa. Nopeusrajoituksella 60 km/h lasku oli 1–3 km/h, nopeusrajoituksella 50 km/h 3–7 km/h ja nopeusrajoituksella 40 km/h 4 km/h ajosuunnan liikennemäärän kasvaessa 1 000 ajon/h.

Keskimääräiset matkanopeudet olivat yleensä alhaisempia ja laskivat nopeammin liikennemäärän kasvaessa kuin pistemittauksista lasketut keskinopeudet samoja väyliä verrattaessa. Nopeuden lasku 1 000 ajoneuvoa kohti oli 5 km/h nopeusrajoituksilla 40 ja 60 km/h sekä 4–10 km/h nopeusrajoituksella 50 km/h.

Ominaisuusarvo (liikennemäärän ja keskimääräisen matkanopeuden tulo), joka kuvaa liikennevirran tehokkuutta, tarkasteltiin liikennetiheyden avulla. Ominaisuusarvo maksimiarvo saavutetaan ennen välityskykyä. Nopeusrajoitusalueella 60 km/h ajosuunnan ominaisuusarvo maksimiarvo lienee noin $65\,000 \text{ (ajon*km)/h}^2$, nopeusrajoitusalueella 50 km/h noin $55\,000 \text{ (ajon*km)/h}^2$ ja nopeusrajoitusalueella 40 km/h noin $35\,000 \text{ (ajon*km)/h}^2$.

Keskimääräiset viivytykset kuten myös viivytettynä ajon osuus matka-ajasta lisääntyivät liikennemäärän kasvaessa. Kiihtyvyyshajonta, joka kuvaa ajon tasaisuutta, pieneni matkanopeuden kasvaessa. Kaikissa viivytyksiä kuvaavissa tunnusluvuissa oli paljon vaihtelua eikä selviä riippuvaisuuksia voitu todeta.

Pienillä liikennemäärillä jonossa ajavien osuus oli noin 2–10 prosenttiyksikköä suurempi nopeusrajoituksella 40 km/h kuin muilla nopeusrajoituksilla. Suuremmilla liikennemäärillä jonoprosentti oli 3–4 prosenttiyksikköä suurempi nopeusrajoituksella 50 kuin 60 km/h. Jonojen keskipituus oli noin 0,5–3,5 ajoneuvoa pienempi nopeusrajoituksella 60 km/h kuin muilla nopeusrajoituksilla ja ero kasvoi liikennemäärän kasvaessa.

Tutkittavien väylien palvelutasot laskettiin kolmella eri menetelmällä, jotka kaikki perustuvat HCM:iin. Pääkatuja varten tarkoitettu taajamaväylämenetelmä, jossa palvelutason määrittäminen perustuu keskimääräiseen matkanopeuteen ja jossa liikennevaloista aiheutuvat viivytykset on otettu huomioon palvelutasorajoja määritettäessä, osoittautui sopivimmaksi tämän tutkimuksen väylille. Menetelmää ei kuitenkaan tule käyttää sellaisilla alemman nopeustason väylillä, joilla ei ole liikennevaloja edes väyliä rajaavissa liittymissä. Kaksikaistaisia maanteitä varten kehitetyt menetelmät, joissa palvelutason määrittäminen perustuu viivytysprosenttiin ja välityskyvyn käyttöasteeseen, antoivat liian huonoja palvelutasoja alemman nopeustason väylille.

**Enberg, Åsa och Hietanen, Juha: Liikennevirta alemman nopeustason kaksikais-
taisilla väylillä.** [Trafikflödet på tvåfältsvägar med lägre hastighet]. Helsingfors 1996.
Vägverket, Utvecklingscentral. Tielaitoksen selvityksiä 18/1996. 49 s. + bilagor 10 s.,
TIEL 3200387, ISBN 951-726-202-7, ISSN 0788-3722.

Nyckelord: trafikflöde, hastighet, köbildning

Sammandrag

Rapporten är ett sammandrag av en undersökning, vars avsikt har varit att införskaffa kunskaper om trafikflödet på tvåfältsvägar med lägre hastighet samt att utveckla metoder för fältmätningar och för att mäta servicenivån på ifrågavarande vägtyp. Vägar med lägre hastighetsnivå är vägar av typ landsväg eller tätortsvägar, vilkas hastighetsbegränsning är 40, 50 eller 60 km/h vilkas flöde inte avbryts med trafiksignaler.

Undersökningen genomfördes på sex olika vägsträckor i Helsingforsregionen. Årsmedeldygnstrafiken på de undersökta vägsträckorna var 10 000–21 000 fordon/dygn. Fältmätningarna gjordes i oktober 1994 och i maj–juni 1995. På varje vägsträcka gjordes mätningarna både i morgon- och eftermiddagsrusningstrafik samt i vanlig dagstrafik. Följande undersökningsmetoder användes: registernummerundersökningar med videokameror, punktmätningar med trafikanalyser samt restids- och fördröjningsmätningar med instrumenterad bil. Alla undersökningsmetoder visade sig vara väl lämpade för trafikflödesundersökningar på vägar med lägre hastighetsnivå. Resultaten var användbara och metoderna kompletterade varandra. Det vore skäl att använda mätmetoderna parallellt, eftersom ingen metod helt kan ersätta de andra.

Under mätningarna varierade trafikflödet mellan 128 och 1 360 fordon/h/riktning. I rusningstrafik var de maximala trafikflödena i huvudköriktningen 764–1 360 fordon/h beroende på vägsträcka. Den från punktmätningarna kalkylerade medelhastigheten (sträckmedelvärde) minskade långsamt, då trafikflödet ökade. Minskningen vid en trafikflödesökning på 1 000 fordon var 1–3 km/h vid hastighetsbegränsningen 60 km/h, 3–7 km/h vid hastighetsbegränsningen 50 km/h samt 4 km/h vid hastighetsbegränsningen 40 km/h.

De genomsnittliga reshastigheterna var vanligtvis en aning lägre och minskade snabbare med ökande flöde än punkthastigheterna vid jämförelse mellan samma vägsträckor. Minskningen, då flödet ökade med 1 000 fordon/h, var 5 km/h på vägsträckorna med hastighetsbegränsningen 40 eller 60 km/h och 4–10 km/h på vägsträckorna med hastighetsbegränsningen 50 km/h.

Produkten av den genomsnittliga reshastigheten och trafikflödet utgör ett mått på trafikens effektivitet. Effektivitetens maximum uppnås innan kapacitetsgränsen är uppnådd. De maximala effektiviteterna per köriktning på vägsträckorna med hastighetsbegränsningarna 60, 50 eller 40 km/h uppskattades vara cirka 65 000, 55 000 respektive 35 000 (fordon*km)/h².

Medelfördröjningarna liksom också den andel av den totala restiden man kör med lägre hastighet än den önskade ökade med ökande flöde. Hastighetsturbulensen, som beskriver trafikflödets homogenitet, minskade med ökande reshastighet. Alla fördröjningsmått uppvisade stora variationer och några klara samband kunde inte påvisas.

Vid låga trafikflöden var andelen fordon i kö cirka 2–10 procentenheter större vid hastighetsbegränsningen 40 km/h än vid övriga hastighetsbegränsningar. Vid högre trafikflöden var köandelen 3–4 procentenheter större då den högsta tillåtna hastigheten var 50 km/h än då den var 60 km/h. Köernas medellängd var cirka 0,5–3,5 fordon kortare vid hastighetsbegränsningen 60 km/h än vid övriga hastighetsbegränsningar och skillnaden ökade med ökande trafikflöde.

Servicenivån på de undersökta vägsträckorna undersöktes med hjälp av tre olika metoder baserade på HCM. Av de använda metoderna visade sig kalkyleringsmetoden för huvudgator i tätort, där bestämningen av servicenivå baserar sig på den genomsnittliga reshastigheten, lämpa sig bäst för att uppskatta servicenivån på tvåfältsvägar med lägre hastighetsnivå. Man bör dock komma ihåg att denna metod egentligen lämpar sig endast för vägsträckor med trafiksignaler, eftersom fördröjningarna från trafiksignalerna är medräknade i HCM:s gränsvärden för de olika servicenivåerna. I denna undersökning kunde metoden användas, eftersom fördröjningarna från trafiksignalerna i början och slutet av vägsträckorna fanns med i mätmaterial. Kalkyleringsmetoderna för vanliga tvåfältsvägar, där servicenivå bestäms utgående från belastningsgrad eller fördröjningsandel, gav för låga servicenivåer, eftersom de egentligen är avsedda för landsvägar med betydligt högre hastigheter.

Enberg, Åsa and Hietanen, Juha: Liikennevirta alemman nopeustason kaksi-kaistaisilla väylillä. [Traffic Flow on Low-Speed Two-Lane Roads in Finland]. Helsinki 1996. Finnish National Road Administration. Tielaitoksen selvityksiä 18/1996. 49 p. + appendix 10 p., TIEL 3200387, ISBN 951-726-202-7, ISSN 0788-3722.

Keywords: traffic flow, speed, platooning

Abstract

This report is a summary of a research work with the purposes to give basic information about traffic flow on two-lane roads with the speed limit 40–60 km/h and to develop field measurement techniques and level-of-service meters for these roads.

The studies were done on six different road sections in the Helsinki region with the AADT 10 000–21 000 veh./day. The field studies were done in October 1994 and in May–June 1995 as well in normal daytime traffic as in morning and evening rush-hour traffic. The field studies consisted of point measurements using traffic analysers and travel speed studies with the license plate and moving observation car methods. All study methods proved to be suitable for low-speed roads. The results were usable and the methods are complementary to each other. If possible, all methods should be used side by side because any of them cannot fully be replaced with the others.

The one-way flow rates varied between 128 and 1 360 veh./h during the measurements. In the rush-hour traffic the maximum flow rates observed in the main direction were 764–1 360 veh./h. The space mean speeds decreased slowly when the flow increased. The decrease was 1–3 km/h at the locations with the speed limit 60 km/h, 3–7 km/h at the speed limit 50 km/h and 4 km/h at the speed limit 40 km/h, when the one-way flow increased by 1 000 veh./h.

The mean travel speeds were usually a little lower and decreased faster than the space mean speeds when the flow increased. The decrease was 5 km/h on the road sections with the speed limit 40 or 60 km/h and 4–10 km/h on the road sections with the speed limit 50 km/h.

The product of traffic flow and mean travel speed represents the efficiency of traffic. The maximum of the traffic efficiency is reached before the capacity is reached. The maximum one-way traffic efficiencies that could be determined were about 65 000 on the road sections with the speed limit 60 km/h, about 55 000 on the road sections with the speed limit 50 km/h and about 35 000 (veh.*km)/h² on the road sections with the speed limit 40 km/h.

The average delays as well as the share of the travel time spent delayed increased with increasing flow. The acceleration noise, which describes the smoothness of traffic flow, decreased with increasing travel speeds. All delay parameters varied a lot and no clearly interdependent relationships could be determined.

At low flow rates the platoon percentages were about 2–10 percentage units higher at the locations with the speed limit 40 km/h than at locations with other speed limits. At higher flow rates the platoon percentages were 3–4 percentage units higher at the speed limit 50 than at 60 km/h. The mean platoon lengths were 0.5–3.5 vehicles shorter at the speed limit 60 km/h and the difference increased when the flow rates increased.

The level-of-service of the road sections in this study was analysed in three different ways based on the HCM. The calculation method used for urban and suburban arterials, in which the mean travel speed is the main indicator of the level-of-service, seemed to be the most suitable for the low-speed two-lane roads in this study. However, this method should be used only for roads with traffic signals, because the delays caused by the traffic signals have been taken into account when determining the limiting values between different levels-of-service in the HCM. The calculation methods for two-lane rural highways using either the v/c ratio or the Percent Time Delay as the main indicator for the level-of-service gave too low levels-of-service for low-speed two-lane roads, because the methods are mainly developed for roads with higher speed levels.

Alkusanat

Teknillisen korkeakoulun liikennelaboratorio on tielaitoksen toimeksiannosta selvittänyt kaksikaistaisten maanteiden liikennevirtojen ominaisuuksia jo 1980-luvun puolivälistä alkaen. Tutkimukset ovat pääasiassa keskittyneet korkealuokkaisiin väyliin. Tielaitos tarvitsee kuitenkin tietoja myös alemman standardin tieverkosta.

Liikenteen hallinta-projektin S6 toimeksiannosta käynnistettiin syksyllä 1994 alemman nopeustason kaksikaistaisten teiden liikennevirtaa koskeva tutkimustyö. Tielaitos käyttää tutkimustuloksia mm. arvioitaessa eri tietyyppien toimivuutta erilaisissa ympäristöissä, kehitettäessä liikenteen hallintajärjestelmiä sekä laadittaessa erilaisten parannustoimenpiteiden vaikutusarvioita.

Tämä raportti on yhteenveto laajemmasta, tekn.yo. Juha Hietasen tekemästä raportista. Hietasen raportti "Liikennevirran perusominaisuudet alemman nopeustason väylillä" on samalla hänen diplomityönsä. Tämän yhteenvetoraportin ovat TKK:ssa tehneet dipl.ins. Åsa Enberg ja dipl.ins. Juha Hietanen apul.prof. Matti Pursulan johdolla. Tielaitoksen yhdyshenkilönä on ollut dipl.ins. Jukka Ristikartano.

Helsingissä toukokuussa 1996

Tielaitos
Kehittämiskeskus

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	3
SAMMANDRAG	4
ABSTRACT	5
ALKUSANAT	7
SISÄLLYSLUETTELO	9
1 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET	11
2 TUTKIMUSKOhteET JA -MENETELMÄT	12
2.1 Tutkimuskohteet	12
2.2 Tutkimusmenetelmät ja mittausaineistot	12
3 NOPEUDET JA OMINAISSUORITE	14
3.1 Pistenopeudet	14
3.2 Matkanopeudet	16
3.3 Ominais suorite	18
4 VIIVYTYKSET	20
4.1 Nopeusprofiilit	20
4.2 Keskimääräinen viivytys	20
4.3 Viivytettynä ajon osuus matka-ajasta	21
4.4 Kiihtyvyyshajonta	22
5 JONONMUODOSTUS	24
5.1 Yleistä	24
5.2 Jonoprosentit	24
5.3 Jonojen keskipituus	26
5.4 Lyhyet aikavälit	28
6 LIIKENTEENVÄLITYSKYKY JA PALVELUTASO	30
6.1 Liikenteenvälityskyky	30
6.2 Palvelutaso	31
7 TULOSTEN TARKASTELU	34
7.1 Vertailu aikaisempiin tutkimustuloksiin	34
7.2 Vertailu muuntityypisiin teihin	38
7.3 Tutkimusmenetelmien vertailu	41
8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	43
9 KIRJALLISUUSLUETTELO	47
10 LIITTEET	49

1 TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET

Liikennevirtaa koskeva perustutkimustoiminta on viime vuosina pääosin keskittynyt korkealuokkaisiin pääväyliin. Tielaitos tarvitsee kuitenkin perustietoja myös alemmpiluokkaisten teiden toimivuudesta ja liikenteen sujuvuudesta eri tilanteissa. Tietoja tarvitaan eri tietyyppien käyttömahdollisuuksien arvioinnissa, liikenteen hallintajärjestelmien kehittämisessä sekä erilaisten parannustoimenpiteiden vaikutusarvioiden laatimisessa esimerkiksi IVAR-järjestelmän avulla. Tutkimustieto tämän tyyppisten väylien liikennevirrasta on kuitenkin tähän asti ollut melko vähäistä. Tämän vuoksi on tielaitoksessa käynnistetty erityinen alemman nopeustason kaksikaistaisien väylien liikennevirtaa koskeva perustutkimustyö. Työn tavoitteina ovat

- liikennevirtatietouden parantaminen
- alemman nopeustason väylien liikennetekniseen toimivuuteen liittyvien liikennevirtaongelmien kartoitus
- alemman nopeustason väylien liikennevirtatutkimuksiin sopivien mittausmenetelmien kehittäminen ja kokeilu
- kenttätutkimusten tekeminen joillakin tyyppillisillä kohdejoukon väylillä
- alemman nopeustason väylien palvelutasomittareiden kehittäminen sekä
- mittausmetodiikan ja palvelutasomittareiden arvioiminen tehtyjen kenttämittausten pohjalta.

Tämä raportti on tutkimustyön yhteenveto ja työn tärkeimpien tulosten lisäksi siinä esitetään vertailuja aikaisempiin tutkimuksiin ja muuntyyppisiin teihin sekä eri mittausmenetelmien vertailuja. Pääpaino on tulosten tarkastelussa ja johtopäätöksissä erityisesti työn tavoitteiden kannalta katsottuna. Käytettyjä mittausmenetelmiä, tutkimuskohteita, kerättyjen mittausaineistojen ominaisuuksia sekä yksityiskohtia alemman nopeustason väylien liikennevirran ominaisuuksista on tarkemmin kuvattu laajemmassa teknisessä raportissa (Hietanen 1995).

2 TUTKIMUSKOhteet JA -MENETELMÄT

2.1 Tutkimuskohteet

Tutkimuskohteiksi etsittiin sellaisia pääkaupunkiseudun alemman nopeustason vilkkaasti liikennöityjä kaksikaistaisia väyliä, joilla ei ole liikennevaloliittymiä muualla kuin tutkimusalueen molemmissa päissä. Jalankulkuvalot sallittiin kuitenkin. Tutkittavia väyliä oli kahdentyyppisiä: tiemäisiä väyliä ja taajamatyyppisiä väyliä. Tiemäisillä väylillä nopeusrajoitus on 50 tai 60 km/h, ris-teävän ja erkanevan/liittyvän liikenteen määrä on pieni ja ympäristö on usein maaseutumainen. Taajamatyyppisillä väylillä nopeusrajoitus on 40 tai 50 km/h ja taajamatoimintoihin liittyvät liikennevirran häiriöt (suojatiet, pysäköinti, liittymät, jalkakäytävät) tekevät liikenteestä kaupunkimaisen.

Tutkimuskohteita valittiin sekä tiemäisiltä että taajamatyyppisiltä väyliltä ja eri nopeusrajoitusalueilta, sillä väylätyyppi ja nopeusrajoitus vaikuttavat oleellisesti liikennevirran luonteeseen. Tiemäiset tutkimuskohteet olivat Finnoontien pohjoispää Espoossa (KAVL 17 000, nopeusrajoitus 60 km/h), Kuusisaarentie (19 000, 50 km/h) sekä Meripellontie/Vuotie Helsingissä (21 000, 50–60 km/h). Taajamatyyppisistä väylistä valittiin tutkimuskohteiksi Espoossa sijaitsevat Finnoontien eteläpää (KAVL 12 000, nopeusrajoitus 50 km/h), Koivuviidantie/Vanhan-Mankkaan tie (11 000, 40 km/h) sekä Kokinkyläntie/Kalenteritie (10 000, 40–50 km/h). Tutkittavien tiejaksojen pituus oli välillä 1,6–3,1 km. Tutkimuskohteiden sijainti pääkaupunkiseudulla on esitetty liitteessä 1.

2.2 Tutkimusmenetelmät ja mittausaineistot

Työn yhtenä tavoitteena oli sopivien mittausmenetelmien kehittäminen ja eri menetelmien kokeilu alemman nopeustason väyliä tutkimustarpeita varten. Pääasiallisina tutkimusmenetelminä käytettiin tiejaksokohtaisia rekisteritunnustutkimuksia, pistekohtaisia liikenneanalyysointimittauksia ja liikennevirrassa mukana ajaen tehtyjä ajoanalyysointimittauksia. Lisäksi tutkimuskohteita rajaavien liikennevalo-ohjauksien liittymien toimintaa videoitiin.

Rekisteritunnustutkimukset tehtiin kuvaamalla tutkittavan väylän ajoneuvojen rekisterikilvet edestä päin videokameralla samanaikaisesti kolmessa eri mittauspisteessä molempiin suuntiin. Yhdellä videokameralla kuvattiin yhtä suuntaa eli kameroita oli yhteensä kuusi. Videonauhoilta poimittiin jokaisen ajoneuvon rekisteritunnus, ajoneuvotyyppi ja havaintoaika. Rekisteritunnustutkimusaineiston käsittelyn tuloksena saatiin luotettavaa ja yksityiskohtaista tietoa matkanopeuksista eri liikennemäärillä 15 minuutin aikajaksoissa.

Liikenneanalyysointimittaukset tehtiin samanaikaisesti kahdessa poikkileikkauksessa tutkittavalla väylällä. Mittauslaitteistoina käytettiin tielaitoksen kannettavia DSL-liikennelaskentalaitteita. Mittausantureina käytettiin asfaltin pintaan ilmastointiteipillä kiinnitettyjä induktiosilmukoita. Laitteet tallensivat jokaisen mittaussilmukoiden yli ajaneen ajoneuvon ohitusajankohdan, nopeuden ja ajoneuvotyyppin erittäin tarkasti. Kerätyistä ajoneuvokohtaisista tiedoista laskettiin 15 minuutin aikajaksoissa mm. matkajakauman keskinopeudet ja nopeuksien hajonnat, aikavälijakaumat sekä jonoprosentit ja jonojen keskipituudet viiden sekunnin jonokriteeriä käyttäen.

Ajoanalysaattorimittaukset tehtiin pääasiassa samanaikaisesti muiden mitausten kanssa ajamalla liikennevirran mukana edestakaisin tutkittavalla väylällä mittauslaitteella varustetulla autolla. Mittaus perustuu auton nopeusmittarin vaijeriin kiinnitettyyn anturiin, jonka antama pulssilukema tallennetaan yhden sekunnin välein laitteen muistiin. Kun tiedetään auton yhden pulssin aikana kulkema matka, voidaan kuljettu matka ja nopeus kuluneen sekunnin aikana laskea. Lisäksi voidaan tallentaa kiintopisteitä ja muita liikennetapah-tumia mittauksen aikana. Ajoanalysaattorimittauksilla liikennevirrassa mukana ajaen saatiin siis tietoa sekä tiejakson nopeustasosta että erilaisten häiriöiden yleisyydestä ja kestosta. Kaikissa mittausajoissa kuljettaja oli sama.

Tutkimuskohdetta rajaavien liikennevaloliittymien toimintaa videoitiin yhdellä kameralla samanaikaisesti rekisteritunnustutkimusten kanssa. Videonauhoista poimittiin tutkimusalueelle menevien jonoajoneuvojen aikavälit.

Ensimmäiset mittaukset tehtiin lokakuussa 1994 Kuusisaarentiellä ja Koivuviidantiellä. Muilla väylillä mittaukset tehtiin touko—kesäkuussa 1995. Jokaisessa kohteessa tehtiin yksi aamuruuhka-, yksi päivä- ja yksi iltapäiväruuhkamittaus. Kunkin mittauksen kesto oli noin kolme tuntia riittävän laajan aineiston varmistamiseksi ja ruuhkamittaukset ajoitettiin niin, että ruuhka-huippu varmasti saatiin mukaan. Mittausten aikana sää oli enimmäkseen hyvä, vaikka sade haittasikin parina päivänä videokuvauksia. Yleensä käytettiin kaikkia mittausmenetelmiä rinnakkain. Vuodenajasta johtuen syksyllä 1994 ei kuitenkaan tehty silmukkamittauksia. Keväällä 1995 silmukoiden teippaaminen onnistui vasta toukokuun loppupuolella, mistä syystä rekisteritunnustutkimukset ja silmukkamittaukset tehtiin samanaikaisesti ainoastaan Meripellontiellä.

Rekisteritunnusaineistoja kertyi noin 54 tuntia tutkimuskohdetta kohti eli yhteensä 324 tuntia. Havaintoja oli yhteensä noin 178 000. Liikenneanaly-saattorilla mitattua aineistoa oli noin 18 tuntia tutkimuskohdetta kohti eli yhteensä noin 72 tuntia. Ajoneuvoja rekisteröitiin yhteensä noin 75 000. Ajo-analysaattoriautolla ajettiin samanaikaisesti muiden mitausten kanssa ja syksyllä 1994 myös yksinään muiden mitausten jälkeen. Tehollista ajoa ajettiin yhteensä noin 40 tuntia. Ajokertoja oli yleensä hieman yli 50 edestakaista kierrosta tutkimuskohdetta kohti, poikkeuksina Karhusaarentie ja Meripellontie, joilla ajettiin 37 ja 26 kierrosta.

Ruuhkaliikenteessä suurimmat tuntiliikennemäärät olivat 800—1 300 ajon/h. Suurin suunnittainen 15 minuutin liikennemäärä, 1 360 ajon/h, havaittiin Meripellontien aamuruuhkassa. Päiväaikaan liikennettä oli 300—600 ajon/h. Kokinkyläntiellä ja Koivuviidantiellä oli selvästi vähemmän liikennettä kuin muilla väylillä, ruuhkaliikenteessäkin ainoastaan 600—700 ajon/h. Ruuhka-aikana vilkkaampaan suuntaan kulki 51—70 % liikenteestä. Epätasaisin suuntajakauma oli Meripellontien aamuruuhkassa ja tasaisimmat jakaumat olivat Kuusisaarentiellä ja Finnoontien pohjoispäässä. Aamuruuhkassa liikenteen suuntajakauma oli epätasaisempi kuin iltaruuhkassa. Keskellä päivää liikenne jakautui melko tasaisesti molemmille suunnille. Ruuhkaliikenteessä raskaiden ajoneuvojen osuus vaihteli yleensä välillä 4—9 %, mutta suurempiakin osuuksia löytyi, erityisesti Meripellontiellä. Hiljaisessa päiväliikenteessä raskaita ajoneuvoja oli 7—14 % mittauksesta ja tutkimuskohteesta riippuen. Koivuviidantiellä on raskaiden ajoneuvoyhdistelmien läpiajokielto ja siitä syystä siellä on vähemmän raskaita ajoneuvoja kuin muilla tutkittavilla väylillä.

3 NOPEUDET JA OMINAISUORITE

3.1 Pistenopeudet

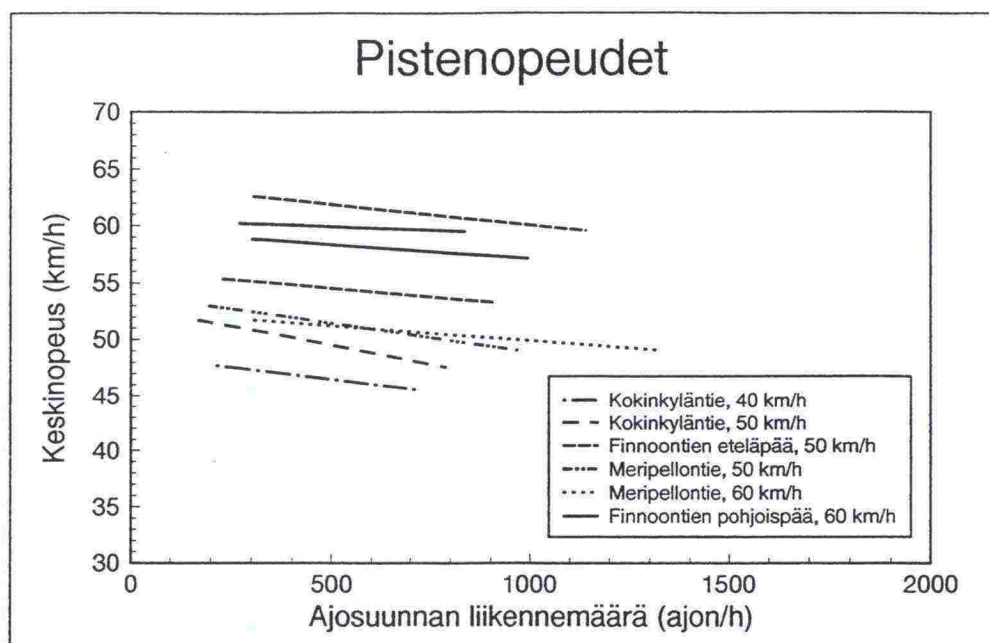
Pistenopeusmittauksia tehtiin Finnoontien, Kokinkyläntien ja Meripellontien tutkimuskohteissa. Keskinopeudet (v_s) laskettiin 15 minuutin aikajaksoissa liikenneanalysointilaitteilla mitattujen pistenopeuksien (v_p) harmonisina keskiarvoina. Keskinopeudet analysoitiin sekä liikennemäärän että liikennetiheyden avulla. Lisäksi tutkittiin nopeuksien keskihajonnan ja suhteellisen hajonnan riippuvaisuutta liikennemäärästä. Tässä yhteydessä käsitellään kuitenkin ainoastaan liikennemäärän vaikutusta nopeuksiin ja muiden analyysien osalta viitataan laajempaan raporttiin. Keskinopeuden ja liikennemäärän riippuvaisuutta kuvaavat pisteistöt on esitetty liitteessä 2. Selvästi poikkeukselliset havainnot (16 kpl 570:stä) on poistettu ennen analyysijä, ja pisteistöihin on sovitettu lineaariset regressiosuorat.

Eri mittauspisteille tehtyjen regressioanalyysien tulokset on esitetty taulukossa 1 ja vastaavat suorat kuvassa 1. Regressioanalyysit on tehty mittauspisteittäin suuntia erottelematta. Saman tutkimuskohteen tai saman nopeusrajoituksen pisteitä ei ole yhdistetty erilaisten nopeustasojen vuoksi. Yhtä poikkeusta lukuunottamatta kaikki esitetyt regressiomallit ovat tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,05. Kuvasta ja taulukosta nähdään, että keskinopeudet vaihtelevat melko paljon mittauspisteestä toiseen ja laskevat varsin hitaasti liikennemäärän kasvaessa, erityisesti niissä mittauspisteissä, joissa nopeusrajoitus on 60 km/h. Jyrkimmin laskeva regressiosuora saatiin Kokinkyläntiellä, mutta jyrkkyyteen vaikutti todennäköisesti lähellä oleva vilkasliikenteinen liittymä. Tutkituilla liikennemäärillä keskinopeudet laskivat nopeusrajoituksen alapuolelle Kokinkyläntien toisessa mittauspisteessä sekä Meripellontien ja Finnoontien pohjoispään pisteissä.

Taulukko 1: Keskinopeus (v_s) ajosuunnan liikennemäärän (q) funktiona eri mittauspisteissä.

$$\text{Malli: } v_s = a + b \times q$$

Tutkimuskohde	Nopeusrajoitus (km/h)	Vakio a	Kerroin b	Selitysaste R^2	Selitysasteen tilastollinen merkitsevyys	Havainnot (kpl)	q:n vaihtelu (ajon/h)
Kokinkyläntie	40	48,65	-0,0043	0,23	Eritt. merk.	66	214- 730
Kokinkyläntie	50	52,86	-0,0067	0,16	Eritt. merk.	66	168- 796
Finnoontie E	50	63,69	-0,0036	0,13	Merkitsevä	72	304-1149
Finnoontie E	50	56,04	-0,0030	0,09	Melk. merk.	69	230- 914
Meripellontie	50	54,00	-0,0051	0,27	Eritt. merk.	71	195- 970
Meripellontie	60	52,51	-0,0026	0,09	Melk. merk.	72	305-1330
Finnoontie P	60	59,54	-0,0024	0,12	Merkitsevä	67	300-1003
Finnoontie P	60	60,52	-0,0012	0,01	Ei merk.	71	270- 844



Kuva 1: Keskinopeus (v_s) ajosuunnan liikennemäärän funktiona eri mittauspisteissä.

Eri kohteita ja eri nopeusrajoitusalueita verrattaessa voidaan todeta, että muutkin ominaisuudet kuin pisteen nopeusrajoitus määrittävät nopeustason. Finnoontien molempien tutkimuskohteiden keskinopeudet ovat kaikilla tutkituilla liikennemäärillä muita kohteita korkeampia. Tämä johtuu siitä, että Finnoontien väyläympäristö on selvästi maaseutumaisempi kuin muut tutkittavat väylät. Erityisesti Finnoontien pohjoispäässä asutus ja muut taajamatoiminnot ovat kaukana tiestä ja niitä on paljon harvemmassa kuin muilla väylillä.

Finnoontien eteläpää luokiteltiin taajamaväylätyypiksi kohteeksi lähinnä ajoradan kapeuden sekä liittymien ja suojateiden lukumäärän perusteella, mutta mittaukset osoittivat, että liikenne on tiemäisempi kuin esim. Meripellontie, joka luokiteltiin tiemäiseksi väyläksi. Kaikista korkeimmat keskinopeudet mitattiin Finnoontien eteläpään toisessa mittauspisteessä, jossa nopeusrajoitus on 50 km/h ja joka sijaitsee suoralla väylällä peltoaukealla.

Meripellontie on nyt tutkituista väylistä vilkkaimmin liikennöity ja sen ajorata on selvästi muita leveämpi. Vaikka nopeusrajoitus Meripellontien alkupäässä on sama 60 km/h kuin Finnoontien pohjoispäässä, nopeustaso on silti Finnoontietä 7–9 km/h alhaisempi ja samaa suuruusluokkaa kuin Meripellontien toisessa mittauspisteessä, jossa nopeusrajoitus on 50 km/h. Meripellontien 60 km/h:n mittauspisteen alhainen nopeustaso johtunee asutuksen läheisyydestä, läheisestä vilkkaasta liittymästä sekä molemmipuoleisesta jalkakäytävästä/pyörätiestä. Meripellontieellä on myös enemmän linja-autoliikennettä ja jonkin verran enemmän muutakin raskasta liikennettä kuin muilla tutkituilla väylillä.

Kokinkyläntien mittauspisteissä keskinopeudet ovat selvästi alhaisempia kuin muissa pisteissä. Kokinkyläntie onkin kapeampi ja mutkittelevampi kuin muut pistenopeusmittauksilla tutkitut väylät, ja asutusta tai metsää on tien välittömässä läheisyydessä.

3.2 Matkanopeudet

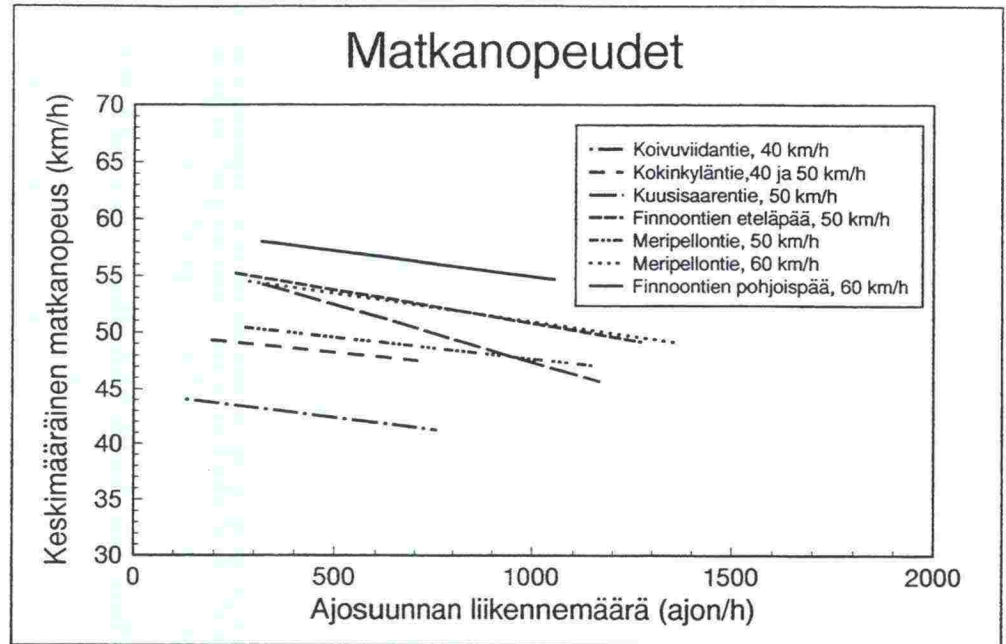
Keskimääräiset matkanopeudet laskettiin 15 minuutin aikajaksoissa jokaisen tutkimuskohteen rekisteritunnusaineistoista. Tarkasteluväliksi valittiin tutkimuskohteen ensimmäisen ja kolmannen videokameran välinen tiejakso. Ainoastaan Meripellontieltä otettiin kaksi pisteväliä, koska ne kuuluivat eri nopeusluokkiin. Myös Kokinkyläntiellä olisi ollut kaksi nopeusrajoitusta, mutta niiden erottaminen olisi vaatinut enemmän kuin kolme videokamerapistettä. Keskinopeus laskee yleensä lähes suoraviivaisesti liikennemäärän kasvaessa, joten *liitteen 3* mittauspisteistöihin sovitettiin lineaariset regressiosuorat sekä liikennemäärän että liikennetiheyden funktiona. Tässä yhteydessä käsitellään kuitenkin ainoastaan liikennemäärän vaikutusta matkanopeuksiin. Liikennemääränä on aina käytetty tarkasteluvälin ensimmäisen mittauspisteen liikennemäärää. Selvästi poikkeukselliset havainnot (16 kpl 499:sta) poistettiin ennen analyysijä. Kaikki regressiomallit ovat tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,05.

Regressioanalyysien tulokset on esitetty *taulukossa 2* ja regressiosuorat on piirretty *kuvaan 2*. Yleisesti voidaan todeta, että keskimääräiset matkanopeudet ovat alhaisempia ja laskevat nopeammin liikennemäärän kasvaessa kuin pistemittauksista lasketut keskinopeudet. Lähes kaikki erot ovat tilastollisesti merkitseviä. Selvän poikkeuksen muodostaa Kokinkyläntie, missä keskinopeuksille sovitettu regressiosuora toisessa mittauspisteessä laskee paljon nopeammin liikennemäärän kasvaessa kuin keskimääräisille matkanopeuksille sovitettu regressiosuora. Syynä on mittauspisteen lähellä oleva vilkasliikenteinen liittymä. Keskimääräiset matkanopeudet olivat nopeusrajoitusalueella 60 km/h nopeusrajoitusta pienempiä ja nopeusrajoitusalueella 40 km/h nopeusrajoitusta suurempia kaikilla tutkituilla liikennemäärillä. Nopeusrajoitusalueella 50 km/h matkanopeudet olivat pienillä liikennemäärillä nopeusrajoitusta suurempia mutta suurimmilla tutkituilla liikennemäärillä aina nopeusrajoituksen alapuolella.

Taulukko 2: Keskimääräinen matkanopeus (v) ajosuunnan liikennemäärän (q) funktiona eri tutkimuskohteissa.

Malli: $v = a + b \times q$

Tutkimuskohde	Nopeusrajoitus (km/h)	Vakio a	Kerroin b	Selitysaste R^2	Selitysasteen tilastollinen merkitsevyys	Havainnot (kpl)	q:n vaihtelu (ajon/h)
Koivuviidantie	40	44,64	-0,0045	0,11	Melk. merk.	62	129- 764
Kokinkyläntie	40 ja 50	50,01	-0,0035	0,08	Melk. merk.	70	192- 732
Kuusisaarentie	50	57,48	-0,0101	0,75	Eritt. merk.	67	320-1176
Finnoontie E	50	56,69	-0,0059	0,45	Eritt. merk.	71	251-1284
Meripellontie	50	51,48	-0,0038	0,23	Eritt. merk.	71	276-1152
Meripellontie	60	55,93	-0,0050	0,32	Eritt. merk.	72	284-1360
Finnoontie P	60	59,42	-0,0045	0,37	Eritt. merk.	70	316-1064



Kuva 2: Keskimääräinen matkanopeus ajosuunnan liikennemäärän funktiona eri tutkimuskohteissa.

Keskimääräiset matkanopeudet vaihtelevat varsin paljon tutkimuskohteesta toiseen ja muutkin väylän ominaisuudet kuin nopeusrajoitus vaikuttavat nopeustasoon. Finnoontien pohjoispäässä on odotetusti korkeimmat keskimääräiset matkanopeudet, ja syynä on, kuten jo pistenopeuksien yhteydessä todettiin, väylän tiemäinen luonne ja maaseutumainen ympäristö. Meripellontielle samalla nopeusrajoitusalueella (60 km/h) keskimääräiset matkanopeudet ovat noin 3–4 km/h alhaisempia. Finnoontien eteläpään matkanopeudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin Meripellontien 60 km/h:n alueella vaikka nopeusrajoitus Finnoontien eteläpäässä on 50 km/h. Tavallaan väylien luonne on samantyyppinen; paljon ympäröiviä toimintoja mutta siitä huolimatta tiemäinen ajorata. Meripellontien toisen tarkasteluvälin (50 km/h) keskimääräiset matkanopeudet ovat puolestaan edellisiä alhaisempia. Osasyinä tähän lienevät tarkasteluvälillä olevat jalankulkuvalot ja pari vilkasta liittymää sekä metrotörmä, joka jonkin verran häiritsee liikennettä.

Koivuviidantiellä, jolla ei tehty pistenopeusmittauksia lainkaan, nopeustaso on selvästi alhaisempi kuin muilla tutkituilla väylillä. Syynä tähän on tietysti alhainen nopeusrajoitus, mutta väylä on lisäksi kapeampi kuin muut tutkitut väylät ja taajamatoimintoja on myös enemmän. Tutkitulla tiejaksolla on kahdet jalankulkuvalot ja suojateiden yhteydessä on pienimuotoisia kavennuksia. Sivutieliittymiä on myös enemmän ja jalkakäytävä/pyörätie on ajoradan molemmilla puolilla. Kokinkyläntiellä, jolla on sekä nopeusrajoitusalue 40 km/h että 50 km/h, keskimääräiset matkanopeudet ovat yli 5 km/h korkeampia kuin Koivuviidantiellä.

Kuusisaarentiellä (50 km/h), jolla ei myöskään tehty pistenopeusmittauksia, keskimääräisen matkanopeuden riippuvaisuus liikennemäärästä oli selvästi suurempaa kuin millään muulla tarkasteluvälillä. Kuusisaarentien regressiosuora koskee vain sujuvaa liikennettä. Tutkimusaluetta rajaaviin liikenne-

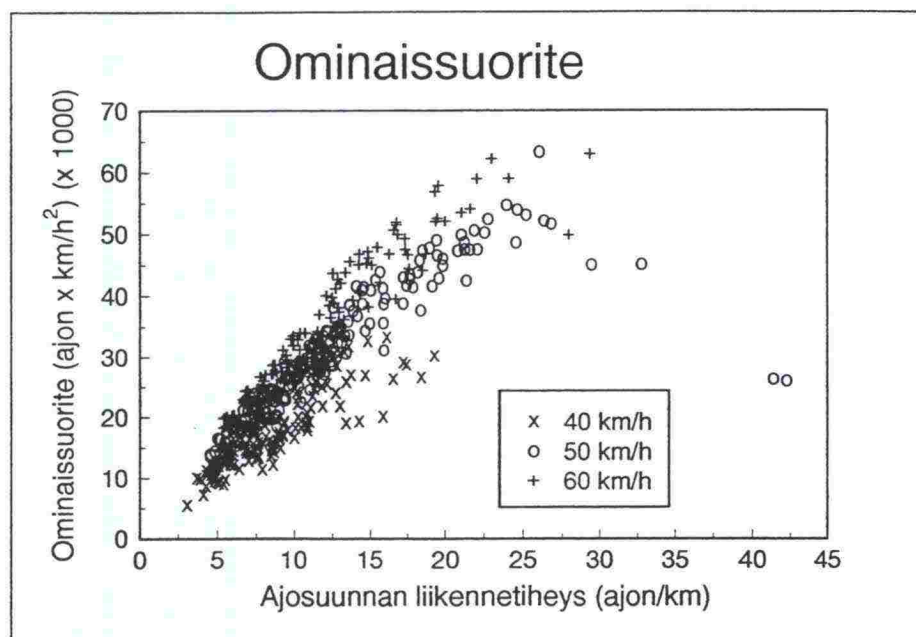
valoihin kerääntyneen jonon aiheuttamat alhaiset nopeushavainnot on jätetty regressioanalyysistä pois, mutta on kuitenkin selvää, että muita jyrkempi nopeuden lasku ainakin osittain johtuu liikennevalojen toiminnasta.

3.3 Ominaisuorite

Keskimääräisen matkanopeuden ja liikennemäärän tulo muodostaa eräänlaisen liikenteen tehokkuuden mitan, jota kutsutaan ominaisuoritteeksi. Tässä yhteydessä sitä tarkastellaan liikennetiheyden avulla. Drown (1968) mukaan tulo kuvaa myös liikennevirran kineettistä energiaa. Liikennetiheyden kasvaessa myös liikennemäärä kasvaa, mutta keskimääräinen matkanopeus alenee varsin hitaasti. Tällöin liikenteen sujuvuuden kokonaishyötyä kuvaava ominaisuorite myös kasvaa. Liikennetiheyden edelleen kasvaessa tullaan lopulta tilanteeseen, jossa liikennemäärän kasvu aiheuttaa matkanopeuden jyrkän alenemisen, ja sen seurauksena ominaisuoritekin alkaa pudota. Liikennetiheyden edelleen kasvaessa liikennemääräkin pienenee. Väylän välityskykyraja ja kriittinen liikennetiheys on silloin saavutettu. Ominaisuoritteen maksimiarvo saavutetaan siis ennen kuin liikennemäärä (ja liikennetiheys) on kasvanut niin suureksi että välityskyky on saavutettu. Näin ollen se voisi olla parempi liikenteen tehokkuuden mitta kuin välityskyky, jota usein ei edes saavuteta. Ominaisuoritteen maksimia vastaava liikennetilanne, jolloin liikenne on "tehokkaimmillaan", on luultavasti myös kansantaloudellisesti liikenneväylän optimaalinen käyttötilanne. (Haaramo & Pursula 1993)

Ominaisuorite laskettiin rekisteritunnusaineistoista 15 minuutin aikajaksoissa liikennemäärän ja keskimääräisen matkanopeuden tulona jokaiselle tutkittavalle väylälle erikseen. Pisteistöt on esitetty liitteessä 4. Ajosuunnan ominaisuoritteen maksimiarvo saavutettiin Kuusisaarentiellä (noin 53 000 (ajon*km)/h²) ja Meripellontien 60 km/h:n nopeusrajoituksen tarkasteluvälillä (noin 63 000 (ajon*km)/h²) sekä pienellä varauksella myös Kokinkyläntiellä (hieman alle 40 000 (ajon*km)/h²) ja Koivuviidantiellä (hieman alle 35 000 (ajon*km)/h²). Finnoontiellä ja Meripellontien 50 km/h:n tarkasteluvälillä liikennemäärät eivät nousseet tarpeeksi suuriksi.

Tässä yhteydessä aineistot on yhdistetty nopeusrajoituksen perusteella. Laskettujen suunnittaisten ominaisuoritteiden riippuvaisuus ajosuunnan liikennetiheydestä eri nopeusrajoitusalueilla on esitetty kuvassa 3. Kuvasta havaitaan, että väylän nopeusrajoituksen ja sen mukana nopeustason laskiessa sekä ominaisuoritteen maksimiarvo että maksimiarvoa vastaava ajosuunnan liikennetiheys pienenevät. Silmämääräisen tarkastelun perusteella voidaan päätellä, että nopeusrajoitusalueella 60 km/h ajosuunnan ominaisuoritteen maksimiarvo on noin 65 000 (ajon*km)/h², nopeusrajoitusalueella 50 km/h noin 55 000 (ajon*km)/h² ja nopeusrajoitusalueella 40 km/h noin 35 000 (ajon*km)/h².

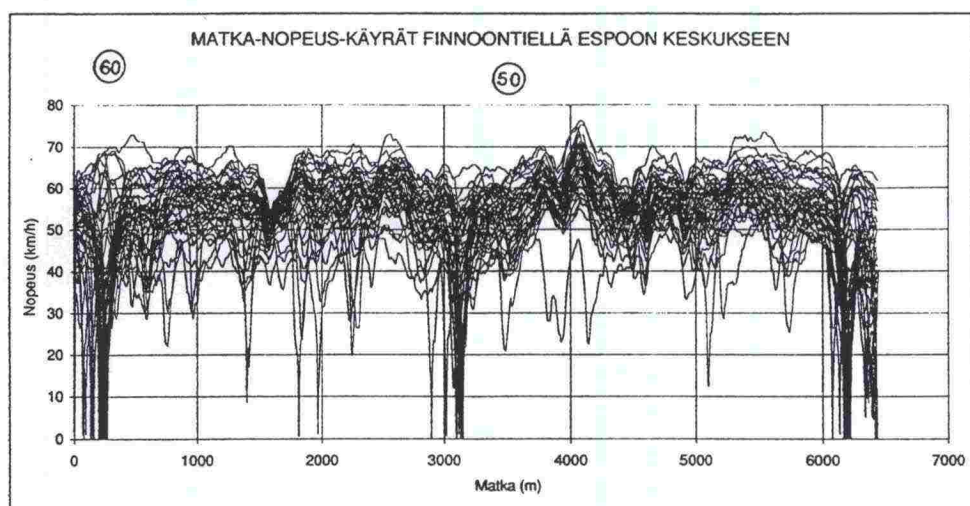


Kuva 3: Suunnittaisen ominaisuoritteen riippuvaisuus ajosuunnan liikennetiheydestä eri nopeusrajoitusalueilla.

4 VIIVYTYKSET

4.1 Nopeusprofiilit

Ajoanalysointiaineistoista piirretyistä nopeusprofiilikuvista (matka-nopeus-käyristä) nähdään tutkittujen tiejaksojen nopeustaso ja sen vaihtelut eri tiekohdissa. Erilaiset häiriöt ja niiden esiintymispaikat näkyvät myös hyvin. Viivytysten syitä tutkimuskohteiden linjaosuuksilla olivat yleensä edelläajavien ajoneuvojen satunnaiset kääntymiset sivukaduille, pysäkeiltä lähtevät linja-autot, tutkimusalueella mahdollisesti sijaitsevat jalankulkuvalot sekä liikennemäärien kasvu, jonka aiheuttamat viivytykset eivät kuitenkaan olleet kovin suuria joitakin poikkeuksia lukuunottamatta. Tutkimusalueita rajaaviin liikennevaloihin kertyvät jonot aiheuttavat tietysti viivytyksiä, joiden vaikutus ulottuu myös linjaosuuksille. Kuvassa 4 on esimerkkinä esitetty Finnoontien molempien tutkimuskohteiden nopeusprofiilit Espoon keskuksen suuntaan. Kuvat muiden tutkimuskohteiden nopeusprofiileista ovat liitteessä 5.

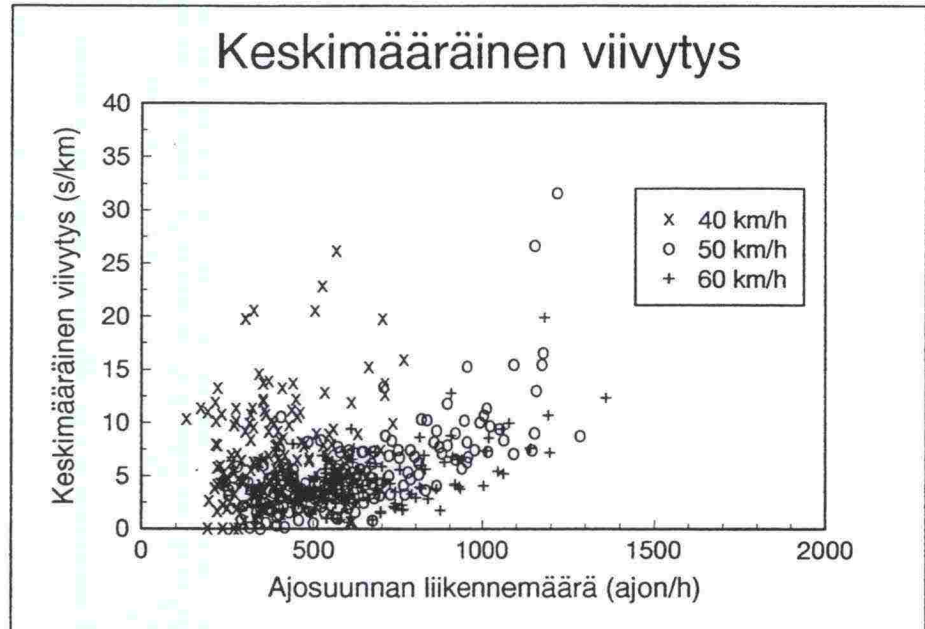


Kuva 4: Finnoontien molempien tutkimuskohteiden nopeusprofiilit Espoon keskuksen päin.

4.2 Keskimääräinen viivytys

Keskimääräiset viivytykset määritettiin vertaamalla rekisteritunnustutkimuksessa havaittua keskimääräistä matka-aikaa kyseisen tarkasteluvälin tavoite-nopeutta vastaavaan matka-aikaan kilometriä kohti. Tavoitenopeus määritettiin keskiarvona niiden ajoneuvojen matkanopeuksista, jotka eivät olleet jonossa tarkasteluvälin alku- eivätkä loppukamerapisteessä. Tavoitenopeudet vaihtelivat välillä 48–61 km/h nopeusrajoituksesta ja tutkimuskohteesta riippuen. Näin lasketut tavoitenopeudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin regressioanalyysistä määritetyt vapaat matkanopeudet kohdassa 3.1.

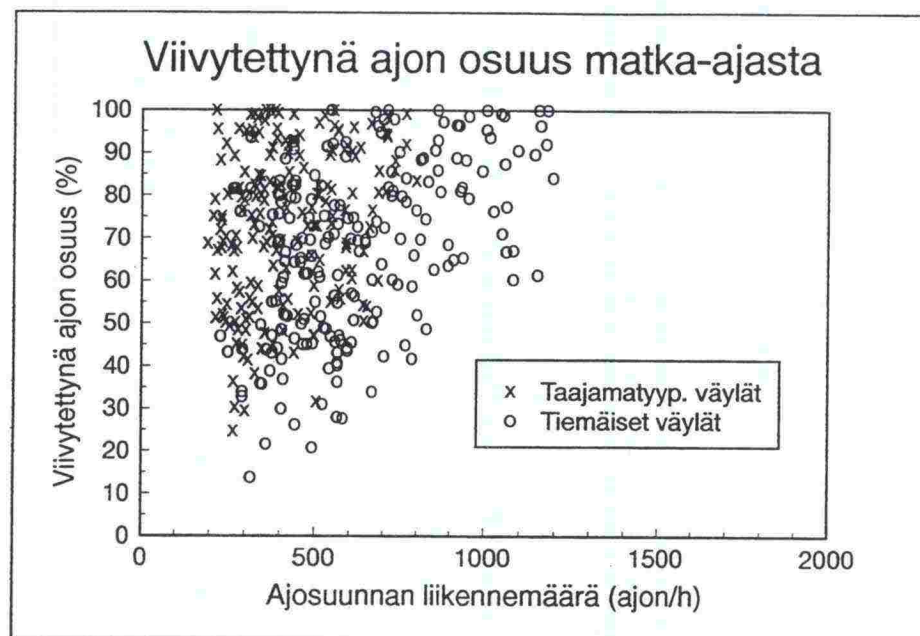
Keskimääräiset viivytykset eri liikennemäärillä ja eri nopeusrajoitusalueilla on esitetty kuvassa 5. Kuvan mukaan viivytykset lisääntyvät liikennemäärän kasvaessa (erityisesti nopeusrajoitusalueella 50 km/h) mutta suurin osa viivytyksistä on kuitenkin alle 10 s. Nopeusrajoitusalueella 40 km/h vaihtelua on enemmän kuin muilla nopeusrajoitusalueilla.



Kuva 5: Keskimääräisen viivytyksen riippuvaisuus ajosuunnan liikennemäärästä eri nopeusrajoitusalueilla.

4.3 Viivytettynä ajon osuus matka-ajasta

Viivytettynä ajon osuus matka-ajasta määritettiin ajoanalysaattoriaineistosta tutkimuskohteen tavoitenopeuden avulla. Viivytettynä ajon osuus oli sen ajan osuus yhden ajon kokonaisajasta, joka ajettiin tavoitenopeutta pienemmällä nopeudella. Tutkimusalueena oli jokaisessa kohteessa tutkimusaluetta rajavien liikennevalojen välinen matka. Viivytettynä ajon osuuden riippuvaisuus liikennemäärästä on esitetty kuvassa 6. Liikennemäärät saatiin samanaikaisesti ajoanalysaattoriajojen kanssa tehtyjen muiden mittausten aineistoista. Liikennemääräksi valittiin aina tutkimusalueen ensimmäisen mittauspisteen liikennemäärä. Kuvan mukaan viivytettynä ajon osuus matka-ajasta lisääntyy liikennemäärän kasvaessa mutta osuuksien hajonta on erityisesti pienillä liikennemäärillä melko suuri. Tämä johtuu siitä, että myös pienillä liikennemäärillä voi joutua ajamaan hitaamman ajoneuvon perässä ja pienillä liikennemäärillä ajoja on myös enemmän. Näyttää myös siltä, että viivytettynä ajon osuudet ovat jonkin verran pienempiä tiemäisillä kuin taajamatyypisillä väylillä, mutta toisaalta suuret liikennemäärät puuttuvat taajamatyypisiltä väyliltä.

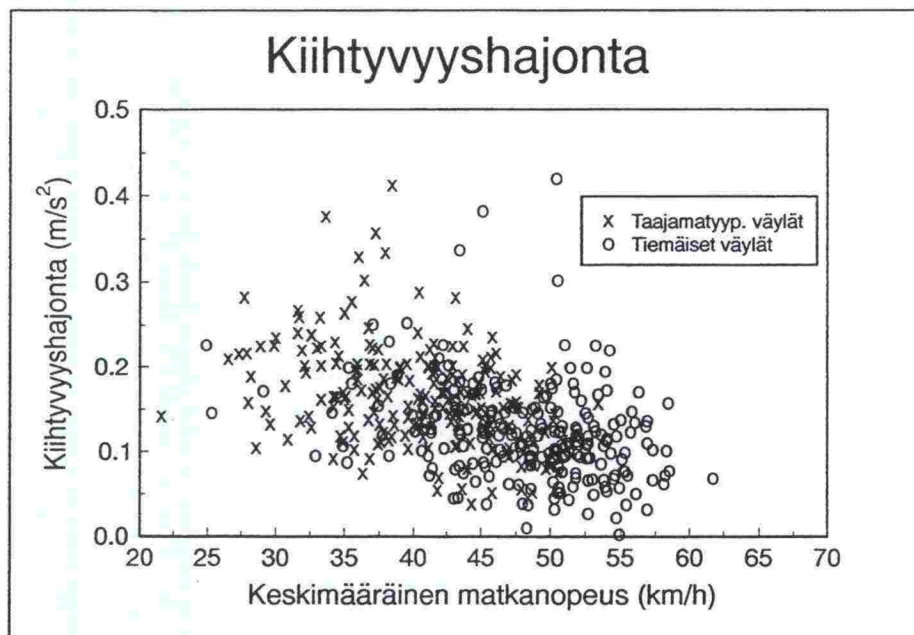


Kuva 6: Viivytettynä ajon osuuden riippuvaisuus ajosuunnan liikennemäärästä eri tyyppisillä teillä.

4.4 Kiihtyvyyshajonta

Vapaissa ajo-olosuhteissa kuljettaja pyrkii yleensä ajamaan tasaisella nopeudella. Todellisuudessa kuljettaja joutuu kuitenkin hidastamaan ja kiihdyttämään joko tieolosuhteiden tai muun liikenteen vuoksi. Nopeuden muutoksia voidaan kuvata kiihtyvyyshajonnalla (acceleration noise), jolla tarkoitetaan yksittäisen ajoneuvon kiihtyvyyksien keskihajontaa tietyllä tiejaksolla. Kiihtyvyyshajonta kuvaa siis ajon tasaisuutta, sillä jokainen nopeuden muutos kasvattaa sitä. Kiihtyvyyshajonnalla voidaan myös kuvata liikennevirran sisäistä energiaa, joka liikennevirran kineettisen energian (liikenteen tehokkuuden eli ominaisuoritteiden) kanssa muodostaa liikennevirran kokonaisenergian. (Drew 1968, Seppälä 1972)

Kiihtyvyyshajontaa tutkittiin sekä liikennemäärän että keskimääräisen matkanopeuden avulla. Kiihtyvyyshajonnat ja keskimääräiset matkanopeudet määritettiin ajoanalyysointiaineistoista. Kunkin ajon liikennemäärä saatiin samanaikaisesti ajoanalyysointiajojen kanssa tehdyistä muista mittauksista. Liikennemäärän kasvu ei sanottavasti vaikuttanut kiihtyvyyshajontaan mutta matkanopeuden kasvu sen sijaan pienensi kiihtyvyyshajontaa jonkin verran. Kuten kuvasta 7 voidaan havaita, kiihtyvyyshajonta vaihteli kuitenkin melko paljon. Suurin havaittu arvo oli $0,42 \text{ m/s}^2$ ja pienin $0,0005 \text{ m/s}^2$. Eri nopeusrajoitusten tai eri tietyyppien välillä ei myöskään havaittu suuria eroja kiihtyvyyshajonnoissa.



Kuva 7: Kiihtyvyyshajonnan riippuvaisuus keskimääräisestä matkanopeudesta eri tyyppisillä teillä.

5 JONONMUODOSTUS

5.1 Yleistä

Jonoprosentilla tarkoitetaan niiden ajoneuvojen osuutta, joiden bruttoaikaväli edellä ajavaan on enintään 5 s. Jonon ensimmäinen ajoneuvo (jonon johtaja) on siis vapaa eikä kuulu jonoon. Jonoprosentit ja jonojen keskipituudet on laskettu analysointiaineistoista kaikissa muissa paitsi Kuusisaaren- ja Koi-vuvidantien tutkimuskohteissa, joissa silmukkamittauksia ei tehty ja joiden osalta tästä syystä on käytetty rekisteritunnustutkimusaineistoista saatavia pistekohtaisia tietoja. Analysointorit mittaavat aikavälit erittäin tarkasti, mutta rekisteritunnuskuvausten videonauhoista aikavälit saadaan poimittua ainoastaan käsin ja sekunnin kymmenyksen tarkkuudella, joten tuloksena saattaa olla hieman suurempi jonoprosentti kuin mitä todellisuudessa on ollut. Aikaisemmat tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että videonauhoista ja silmu-koista mitatut aikavälit ovat riittävällä tarkkuudella samaa suuruusluokkaa.

Jonoprosentteja ja jonojen keskipituuksia on tarkasteltu lineaarisella regressioanalyysillä, jossa liikennemäärää on käytetty selittäjänä. Funktiot on oletettu eksponentiaalisiksi satunnaisen liikenteen teorian mukaisesti. Selvästi muista poikkeavat havainnot (20 kpl 1000:sta) on jätetty pois analyysistä. Aineistot on yhdistetty siten, että sekä saman nopeusrajoituksen että saman tutkimuskohteen tarkastelupisteet on yhdistetty. Kummankin yhdistelytavan mukaiset pisteistöt on esitetty *liitteessä 6*. Pistekohtaiset pisteistöt ja analyysit on esitetty laajemmassa raportissa. Kaikki esitetyt regressiomallit ovat tilastollisesti hyväksyttävissä riskitasolla 0,001. Muutamaa poikkeusta lukuunottamatta esitetyt erot eri käyrien välillä ovat tilastollisesti merkitseviä.

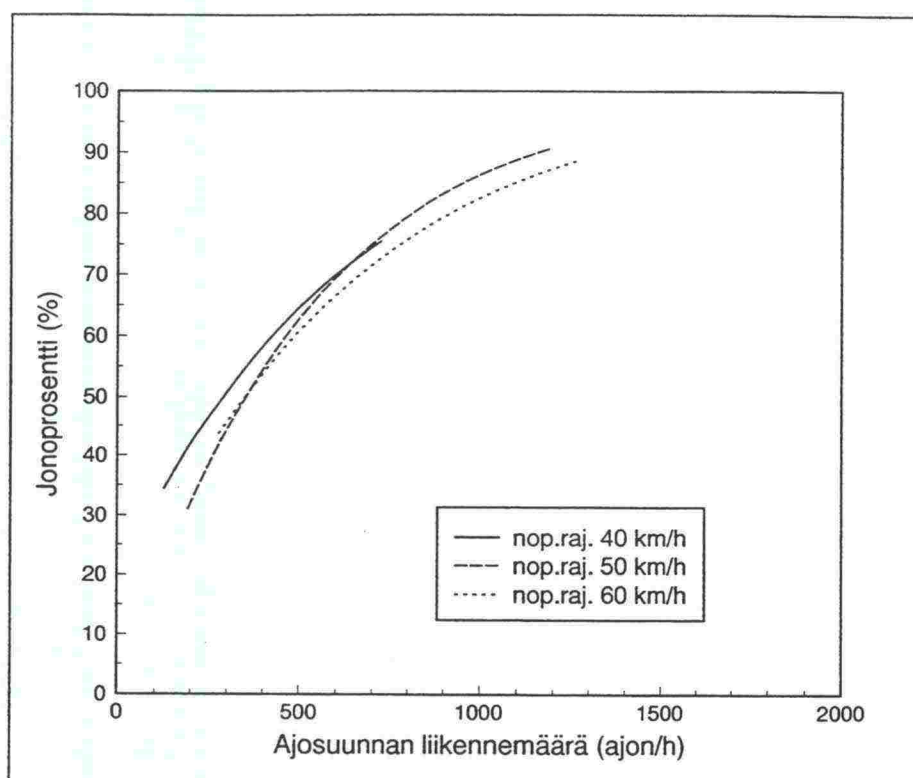
5.2 Jonoprosentit

Eri nopeusrajoitusalueilla tehtyjen regressioanalyysien tulokset on esitetty *taulukossa 3* ja vastaavat käyrät *kuvassa 8*. Taulukosta voi laskea ja kuvasta nähdään, että pienillä liikennemäärillä (alle 500 ajon/h) jonossa ajavien osuus on noin 2–10 prosenttiyksikköä suurempi nopeusrajoituksella 40 km/h kuin muilla nopeusrajoituksilla. Suuremmilla liikennemäärillä jonoprosentti on 3–4 prosenttiyksikköä suurempi nopeusrajoituksella 50 km/h kuin nopeusrajoituksella 60 km/h.

Taulukko 3: Vapaiden ajoneuvojen osuuden (100-jonoprosentti p) logaritmi liikennemäärän (q) funktiona eri nopeusrajoitusalueilla.

Malli: $\ln(100-p) = a + b \times q$

Nopeusrajoitus (km/h)	Vakio a	Kerroin b	Selitys- aste R ²	Selitysasteen tilastollinen merkitsevyys	Havaintoja (kpl)	q:n vaihtelu (ajon/h)
40	4,39	-0,0016	0,72	Eritt. merk.	272	125- 763
50	4,62	-0,0020	0,90	Eritt. merk.	491	192-1250
60	4,48	-0,0016	0,88	Eritt. merk.	217	276-1330
Koko aineisto	4,52	-0,0018	0,85	Eritt. merk.	980	125-1330

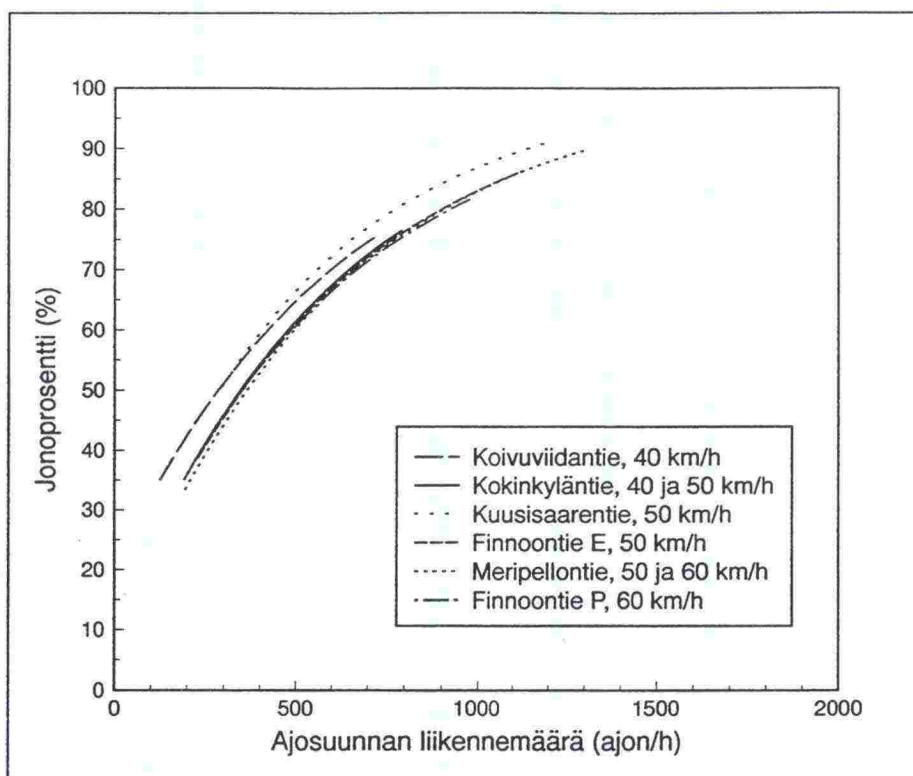


Kuva 8: Jonoprosentti ajosuunnan liikennemäärän funktiona eri nopeusrajoitusalueilla.

Taulukossa 4 ja kuvassa 9 on esitetty regressioanalyysin tulokset eri tutkimuskohteiden osalta. Tutkituilla liikennemäärillä jonoprosentti on pienimmillään hieman yli 30 % ja suurimmillaan hieman yli 90 %. Koivuviidantiellä ja Kuusisaarentiellä jonoprosentit ovat noin 3–6 prosenttiyksikköä suurempia kuin muissa kohteissa.

Taulukko 4: Vapaiden ajoneuvojen osuuden (100-jonoprosentti p) logaritmi liikennemäärän (q) funktiona eri tutkimuskohteissa.
Malli: $\ln(100-p) = a + b \times q$

Tutkimuskohte	Nopeusrajoitus (km/h)	Vakio a	Kerroin b	Selitysaste R^2	Selitysasteen tilastollinen merkitsevyys	Havainnot (kpl)	q:n vaihtelu (ajon/h)
Koivuviidantie	40	4,38	-0,0016	0,71	Eritt. merk.	204	125- 763
Kokinkyläntie	40 ja 50	4,50	-0,0017	0,79	Eritt. merk.	133	192- 796
Kuusisaarentie	50	4,46	-0,0019	0,90	Eritt. merk.	211	296-1250
Finnoontie E	50	4,50	-0,0017	0,81	Eritt. merk.	143	230-1149
Meripellontie	50 ja 60	4,53	-0,0017	0,91	Eritt. merk.	149	195-1330
Finnoontie P	60	4,47	-0,0016	0,86	Eritt. merk.	140	276-1003



Kuva 9: Jonoprosentti ajosuunnan liikennemäärän funktiona eri tutkimuskoh-teissa.

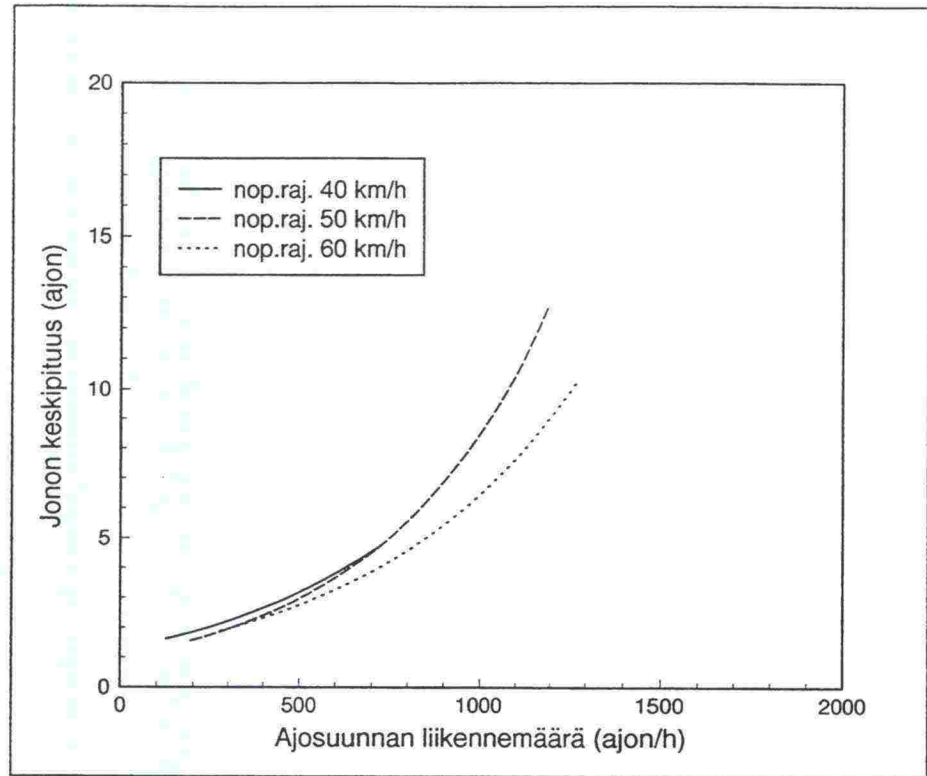
5.3 Jonojen keskipituus

Jonon keskipituus liikennemäärän funktiona eri nopeusrajoitusalueilla on esitetty taulukossa 5 ja kuvassa 10. Tulosten mukaan jonojen keskipituus on noin 0,5–3,5 ajoneuvoa pienempi nopeusrajoituksella 60 km/h kuin muilla nopeusrajoituksilla ja ero kasvaa liikennemäärän kasvaessa.

Taulukko 5: Jonon keskipituuden ($E(Q)$) logaritmi liikennemäärän (q) funk-tiona eri nopeusrajoitusalueilla.

Malli: $\ln(E(Q)) = a + b \times q$

Nopeusrajoitus (km/h)	Vakio a	Kerroin b	Selitys- aste R^2	Selitysas- teen tilastollinen merkitsevyys	Havain- toja (kpl)	q:n vaihtelu (ajon/h)
40	0,2559	0,0018	0,58	Eritt. merk.	272	125- 763
50	0,0369	0,0021	0,84	Eritt. merk.	491	192-1250
60	0,1624	0,0017	0,89	Eritt. merk.	217	276-1330
Koko aineisto	0,1625	0,0019	0,81	Eritt. merk.	980	125-1330



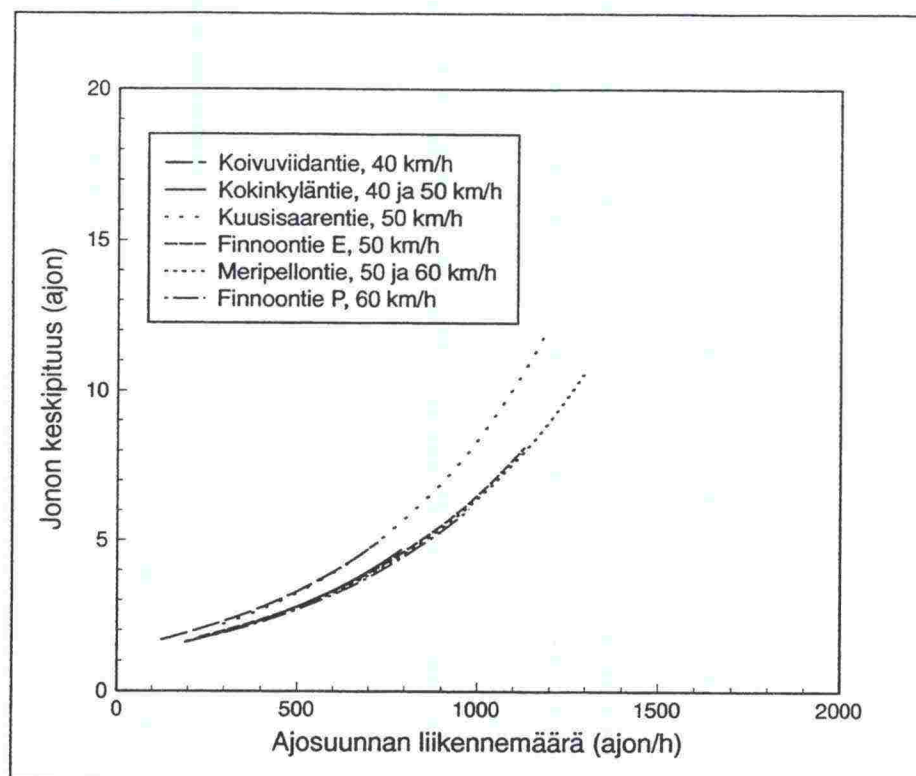
Kuva 10: Jonon keskipituus ajosuunnan liikennemäärän funktiona eri nopeusrajoitusalueilla.

Taulukossa 6 on esitetty regressioanalyysien tulokset eri tutkimuskohteissa. Taulukon mukaiset käyrät on esitetty kuvassa 11. Tutkituilla liikennemäärillä jonon keskipituus on pienimmillään noin yksi ajoneuvo ja suurimmillaan noin 12 ajoneuvoa. Kuvan ja taulukon mukaan Kuusisaarentien ja Koivuviidantien keskimääräiset jononpituudet ovat noin 0,5–4,0 ajoneuvoa suuremmat kuin muissa tutkimuskohteissa.

Taulukko 6: Jonon keskipituuden ($E(Q)$) logaritmi liikennemäärän (q) funktiona eri tutkimuskohteissa.

$$\text{Malli: } \ln(E(Q)) = a + b \times q$$

Tutkimuskohte	Nopeusrajoitus (km/h)	Vakio a	Kerroin b	Selitysaste R^2	Selitysasteen tilastollinen merkitsevyys	Havainnotoja (kpl)	q:n vaihtelu (ajon/h)
Koivuviidantie	40	0,2937	0,0018	0,58	Eritt. merk.	204	125- 763
Kokinkyläntie	40 ja 50	0,1233	0,0018	0,63	Eritt. merk.	133	192- 796
Kuusisaarentie	50	0,2247	0,0019	0,82	Eritt. merk.	211	296-1250
Finnoontie E	50	0,1755	0,0017	0,86	Eritt. merk.	143	230-1149
Meripellontie	50 ja 60	0,1580	0,0017	0,90	Eritt. merk.	149	195-1330
Finnoontie P	60	0,1405	0,0017	0,83	Eritt. merk.	140	276-1003



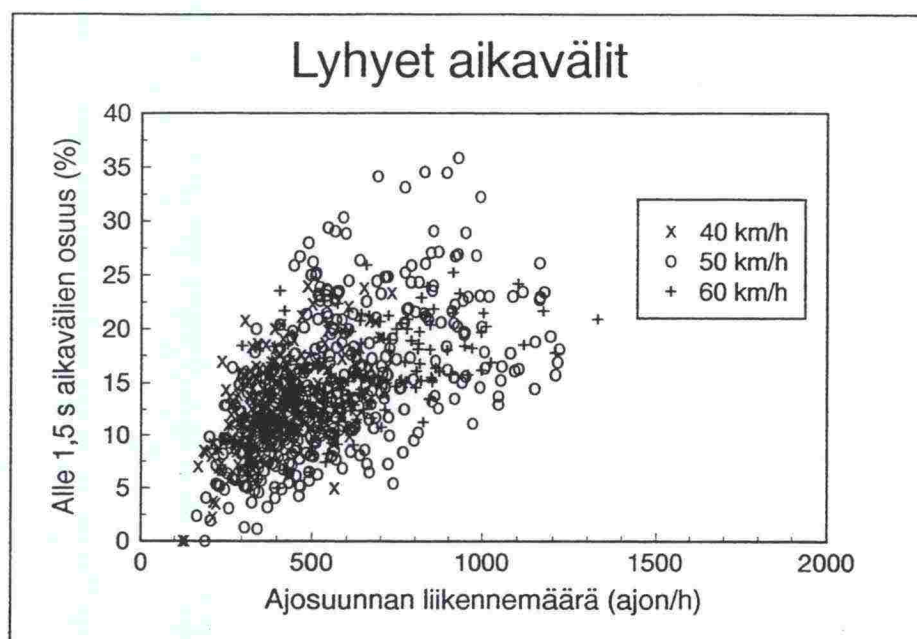
Kuva 11: Jonon keskipituus ajosuunnan liikennemäärän funktiona eri tutkimuskohteissa.

5.4 Lyhyet aikavälit

Peräkkäisten ajoneuvojen aikavälejä tutkittiin bruttoaikavälijakaumien avulla. Jokaisesta tarkastelupisteestä piirrettiin sekä aikavälien tiheys- että summa- käyrät eri liikennemäärillä. Aikavälien tiheyskäyrän huippu oli yleensä 1,5–2,0 sekunnin välillä, mutta vaihtelualue oli 1,0–2,5 s. Liikennemäärällä ei juurikaan ollut vaikutusta tiheyskäyrän huipun sijaintiin, mutta yleensä huipun korkeus kasvoi liikennemäärän kasvaessa.

Lyhyiksi aikaväleiksi katsottiin alle 1,5 sekunnin bruttoaikavälit. Alle 1,5 sekunnin aikavälien osuus lisääntyi kaikkialla ajosuunnan liikennemäärän kasvaessa, mutta pisteistöjen hajonta oli suuri, kuten kuvasta 12 voidaan havaita. Aivan pienimmillä tutkituilla liikennemäärillä alle 1,5 sekunnin aikavälejä ei ollut lainkaan. Suurimmillaan lyhyiden aikavälien osuus oli hieman yli 35 % liikennemäärällä noin 950 ajon/h.

Aikavälit yleensä pitenivät ajoneuvon edetessä tutkimusalueella. Aikavälit pitenivät eniten väylillä, joiden väyläympäristössä on paljon taajamatoimintoja, esimerkiksi liittymiä, asutusta, linja-autopysäkkejä sekä kevyttä liikennettä. Vähiten aikavälit pitenivät maaseututyypisillä väylillä, joilla on vähemmän taajamatoimintoja.



Kuva 12: Alle 1,5 sekunnin bruttoaikavälien osuuden riippuvaisuus ajosuunnan liikennemäärästä eri nopeusrajoitusalueilla.

6 LIIKENTEENVÄLITYSKYKY JA PALVELUTASO

6.1 Liikenteenvälityskyky

Liikenteenvälityskyvyllä tarkoitetaan suurinta liikenneyksiköiden määrää, jonka tie tai kaista voi välittää aikayksikössä vallitsevissa tie-, liikenne- ja liikenteenohjausolosuhteissa (Lyly 1990). Tutkittujen tiejaksojen välityskyvyt laskettiin sekä ruotsalaisella menetelmällä (Statens vägverk 1973, Statens vägverk 1977) että amerikkalaisella menetelmällä Highway Capacity Manual (HCM) -käsikirjan mukaisesti (Transportation Research Board 1994, Tie- ja vesirakennushallitus 1986). Ruotsalainen menetelmä soveltuu kahden liittymän välisen tie- ja katujakson välityskyvyn tarkasteluun. HCM:in menetelmä käsittelee lähinnä kaksikaistaisen teiden välityskykyä linjaosuuksilla maaseutuolosuhteissa.

Ruotsalaisessa menetelmässä lähdetään liikkeelle ns. välityskyvyn perusarvosta, joka määritetään ajoradan ja pientareen leveyksien perusteella. Lopullinen välityskyky saadaan kertomalla perusarvo suuntajakaumasta, sivustetäisyydestä ja raskaan liikenteen osuudesta johtuvilla korjauskertoimilla. Amerikkalaisessa menetelmässä lähtökohtana on kaksikaistaisen maantien maksimivälityskyky ihanneolosuhteissa (2 800 henkilöautoa/h). Kertomalla tämä välityskykyarvo todelliset tie- ja liikenneolosuhteet huomioon ottavilla kertoimilla saadaan lopullinen välityskyky. Nämä kertoimet ovat välityskyvyn käyttöaste-, suuntajakauma-, leveys- ja raskasautokerroin. Yhteenveto välityskykylaskelmista on esitetty *taulukossa 7*. Yksittäisten tutkimuskohteiden välityskyvyt sekä käytetyt korjauskertoimet löytyvät *liitteestä 7*.

Taulukko 7: Ruotsalaisen menetelmän ja amerikkalaisen Highway Capacity Manualin mukaan lasketut välityskyvyt sekä mitatut koko ajoradan maksimiliikennemäärät.

Väylätyyppi	Koko ajoradan välityskyky ruotsalaisen menetelmän mukaan (ajon/h)	Koko ajoradan välityskyky HCM:in mukaan (ajon/h)	Suurin mitattu 15 min liikennemäärä (ajon/h)
Tiemäinen	1 950–2 050	1 850–2 200	1 900–2 200
Taajamatyyppinen	1 750–1 950	1 750–2 000	930–2 050

Laskettu välityskyky ylittyi ainoastaan Kuusisaarentiellä (tiemäinen väylä, 50 km/h) ja yhden ainoan 15 min aikajakson ajaksi, jolloin aamuruuhkassa koko ajoradan liikennemäärä oli hieman yli 2 200 ajon/h kaikissa kolmessa videokamerapisteessä. Vaikka laskettu välityskyky hetkeksi ylittyi, on kuitenkin epävarmaa, ylittyikö välityskyky todellisuudessa, sillä kyseisessä aamuruuhkassa keskimääräinen matkanopeus oli alimmillaan noin 37 km/h eikä liikenne silmämääräisten havaintojen perusteella missään vaiheessa täysin pysähtynyt.

HCM:iin perustuva menetelmä antaa hieman suurempia välityskykyarvoja kuin ruotsalainen menetelmä, mutta itse asiassa todelliset välityskykyarvot ovat luultavasti suuremmat kuin näillä menetelmillä lasketut arvot. Toisaalta

on myös muistettava, että kenttähavaintoja suurilta liikennemääriltä ei ole riittävästi (ja joiltakin väyliltä ne puuttuvat kokonaan), jotta arvioita todellisista välityskykyarvoista voisi edes esittää. Lähempänä totuutta olevia arvoja saadaan todennäköisesti, jos raskaan liikenteen korjauskerroin jätetään pois laskelmista. Tämä korjauskerroin perustuu olettamukseen, että raskas liikenne kulkee muuta liikennettä hitaammin ja näin pienentää välityskykyä. Nyt tutkituilla väylillä raskaan liikenteen nopeudet ovat varsin lähellä muun liikenteen nopeuksia ja näin ollen katsottiin perustelluksi jättää raskaan liikenteen korjauskerroin pois välityskykylaskelmista. Tämän korjauksen jälkeen amerikkalainen HCM-menetelmä on jonkin verran parempi kuin ruotsalainen menetelmä. HCM antaa välityskykyarvoja, jotka korjauksen jälkeen ovat 150–400 ajon/h suurempia kuin ennen korjausta, kun taas ruotsalaisen menetelmän antamat arvot ovat vain 100–200 ajon/h suurempia.

6.2 Palvelutaso

Palvelutasolla (level-of-service) tarkoitetaan ajo- tai liikkumisolosuhteiden laatua liikenteessä mukana olevan kannalta tarkasteltuna (Lyly 1990). Palvelutaso on siis subjektiivinen liikenteen laadun mitta. Siihen vaikuttavat mm. ajonopeus, ajon vapaus ja mukavuus sekä erilaiset häiriöt. Palvelutason mittana voidaan käyttää lukuisia eri liikennevirran tunnuslukuja kuten keskimääräistä matkanopeutta tai matka-aikaa, keskimääräistä viivytystä, jononmuodostusta, ohitusmäärää, kiihtyvyyshajontaa ja välityskyvyn käyttöastetta (v/c -suhde).

Tutkittavien väylien palvelutasot laskettiin kolmella eri laskentatavalla, jotka kaikki perustuvat HCM:iin. Laskentamenetelmät olivat

- kaksikaistaisen maanteiden laskentamenetelmä, jossa palvelutason määrittäminen perustuu ainoastaan välityskyvyn käyttöasteeseen (nopeustaso ja viivytysprosentti ei otettu huomioon)
- kaksikaistaisen maanteiden laskentamenetelmä, jossa palvelutason määrittäminen perustuu ainoastaan viivytysprosenttiin (nopeustaso ja käyttöastetta ei otettu huomioon)
- pääkatuja varten tarkoitettu taajamaväylämenetelmä, jossa taulukkoarvojen sijasta käytetään havaittuja viivytyksiä ja matkanopeuksia palvelutason määrittämistä varten.

HCM:n mukaan liikennöintiolosuhteet kaksikaistaisen maanteiden (two-lane rural highways) linjaosuuksilla liittymien välissä voidaan jakaa kuuteen palvelutasoluokkaan, A–F. Luokassa A ajo-olosuhteet ovat lähes vapaat ja luokassa F tien välityskyky on jo ylittynyt. Palvelutason määrittämiseksi käytetään kolmea parametria, jotka ovat keskimääräinen matkanopeus, viivytysprosentti ja välityskyvyn käyttöaste. Näistä viivytysprosentti (Percent Time Delay) katsotaan merkittävimmäksi palvelutasoa kuvaavaksi tekijäksi. Viivytysprosentilla tarkoitetaan sitä keskimääräistä osuutta matka-ajasta, jonka ajoneuvot joutuvat ajamaan haluttua nopeutta pienemmällä nopeudella. Käytännössä tämä voidaan approksimoida jonoprocentilla. (Transportation Research Board 1994, Tie- ja vesirakennushallitus 1986)

Palvelutasoja voidaan käsitellä myös HCM:n pääkatuja varten tarkoitettulla taajamaväylämenetelmällä (urban and suburban arterials), koska tutkittuja

väyliä voidaan tavallaan pitää myös pääkatuina. Taajamaväylämenetelmässä palvelutason (A–F) määrittäminen perustuu keskimääräiseen matkanopeuteen, joka lasketaan liittymien välisen matka-ajan ja liikennevaloliittymien aiheuttaman viivytysajan perusteella. (Transportation Research Board 1994)

Kaikkia laskentamenetelmiä muunneltiin hieman vastaamaan paremmin alemman nopeustason kaksikaistaisien väylien liikenneolosuhteita. Kaksikaistaisien teiden menetelmissä apuna käytettiin myös tielaitoksen HCM:iin perustuvaa laskentaohjetta, jossa on otettu huomioon Suomen olosuhteet (Tie- ja vesirakennushallitus 1986). Laskettaessa palvelutasoja kaksikaistaisien teiden menetelmillä raskaiden ajoneuvojen korjauskerroin jätettiin pois. Perustelut ovat samat kuin välityskyvyn määrittämisen yhteydessä kohdassa 6.1. Mitoittavana viivytysprosenttina käytettiin sekä huipputunnin koko ajoradan että molempien suuntien jonoprocenttia. Taajamaväylämenetelmässä ajoaikaa liikennevalojen välillä ei katsottu HCM:n taulukosta, vaan se laskettiin jokaisen tutkittavan väylän kummankin suunnan liikennemäärän huipputunnin keskiarvona ajoanalyysointitietojen perusteella. Myös liikennevalojen aiheuttama kokonaisviivytys laskettiin liikennemäärän huipputunnin keskiarvona ajoanalyysointitietojen perusteella.

Jokaisen tutkittavan väylän palvelutaso eri menetelmillä laskettuna on esitetty taulukossa 8. Kaksikaistaisien teiden menetelmä, jossa palvelutason määrittäminen perustuu välityskyvyn käyttöasteeseen, antoi maksimiliikennemäärällä kaikille väylille palvelutason E vaikka väylät sijoittuvatkin eri tavalla E-luokan sisällä. Finnoontien pohjoispää ja Kuusisaarentie sijoittuvat palvelutasoluokkaan E niin, että ne ovat melko lähellä luokkaa F. Meripellontie ja Finnoontien eteläpää kuuluvat selvästi luokkaan E. Kokinkyläntie ja Koivuviidantie ovat melko lähellä palvelutasoluokkaa D. Huonot palvelutasot johtunevat ainakin osittain siitä, että välityskyvyn käyttöasteen taulukkoarvoja ei sellaisinaan voi soveltaa nyt tutkittuihin väylätyyppeihin, koska kohdassa 6.1 lasketut välityskyvyt ovat todellisia välityskykyjä huomattavasti pienempiä.

Kaksikaistaisien teiden menetelmä, jossa palvelutason määrittäminen perustuu viivytysprosenttiin, antoi maksimiliikennemäärällä palvelutason D Kokinkyläntielle ja Koivuviidantielle sekä palvelutason E kaikille muille väylille.

Käytetyistä menetelmistä HCM:n taajamaväylämenetelmä osoittautui parhaimmaksi alemman nopeustason kaksikaistaisien teiden palvelutason määrittämiseksi. Keskimääräinen matkanopeus kuvaa todellista palvelutasoa paremmin kuin välityskyvyn käyttöaste tai viivytysprosentti. On kuitenkin muistettava, että alkuperäisen menetelmän käytön edellytyksenä on, että tutkittavalla väylällä on liikennevaloja. Palvelutasorajoja määriteltäessä liikennevalojen aiheuttamat viivytykset on otettu huomioon, ja siitä syystä menetelmää ei pitäisi käyttää liikennevalottomilla alemman nopeustason väylillä. Tämän tutkimuksen väylille menetelmää voitiin kuitenkin käyttää, koska heti varsinaisen tutkimuskohteen ulkopuolella oli todellisuudessa aina liikennevaloja, ja niiden aiheuttamat viivytykset saatiin ajoanalyysointitietojen perusteella.

Kuten tutkittavien väylien keskimääräisen matkanopeuden ja liikennemäärän riippuvaisuuden perusteella voidaan olettaa, palvelutasot ovat HCM:n taajamaväylämenetelmällä laskettuina varsin korkeita. Tällä menetelmällä laskettuna palvelutaso oli A, B, tai C niillä väylillä, joiden nopeusrajoitus oli 60 tai 50 km/h ja B tai C niillä väylillä, joiden nopeusrajoitus oli 40 km/h. Vaihto-

ehtoisesti voidaan todeta, että tiemäisillä väylillä palvelutaso oli B tai C ja taajamatyyppisillä väylillä A, B tai C. Nämä palvelutasot luultavasti hieman yliarvioivat todellisia autoilijoiden kokemia palvelutasoja tutkituilla väylillä. Muut menetelmät antavat kuitenkin liian huonoja palvelutasoja, koska ne ovat oikeastaan tarkoitettut selvästi korkeamman nopeustason kaksikaistaisille maanteille.

Taulukko 8: Tutkittavien väylien palvelutasoluokat eri menetelmillä laskettuina.

Tutkimuskohde	Suunta	Palvelutasoluokka HCM:n kaksikaistaisen teiden menetelmällä käyttöasteen avulla	Palvelutasoluokka HCM:n kaksikaistaisen teiden menetelmällä viivytysprosentin avulla	Palvelutasoluokka HCM:n taajamaväylämenetelmällä
Finnoontie, pohjoispää 60 km/h tiemäinen	Espoon keskukseen		E	B
	Suomenojalle		D–E	B
	Koko ajorata	E	E	
Meripellontie 50 ja 60 km/h tiemäinen	Vuosaareen		E	B
	Itäkeskukseen		E	C
	Koko ajorata	E	E	
Kuusisaarentie 50 km/h tiemäinen	Munkkiniemeen		E	C
	Otaniemeen		E	C
	Koko ajorata	E		
Finnoontie, eteläpää 50 km/h taajamatyyppinen	Espoon keskukseen		E	A
	Suomenojalle		E	B
	Koko ajorata	E	E	
Kokinkyläntie 40 ja 50 km/h taajamatyyppinen	Mankkaalle		D	C
	Olariin		D	B
	Koko ajorata	E	D	
Koivuviidantie/Vanhankankaan tie 40 km/h, taajamatyyppinen	Kiloon		D	C
	Tapiolaan		D	C
	Koko ajorata	E		

7 TULOSTEN TARKASTELU

7.1 Vertailu aikaisempiin tutkimustuloksiin

Alemman nopeustason kaksikaistaisilta väyliltä on hyvin vähän aikaisempaa tutkimustietoa. Varsinaisia liikennevirtatutkimuksia ei tämän tyyppisillä teillä ole Suomessa tehty, mikä olikin yksi syy tämän tutkimuksen käynnistymiseksi. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV) ja Helsingin kaupunki tekevät säännöllisesti henkilöautoliikenteen matka-aika- ja matkanopeustutkimuksia Helsingissä ja muualla pääkaupunkiseudulla omia tarpeitaan varten. YTV on lisäksi vuonna 1992 aloittanut liikennekäyttäytymisen järjestelmällisen seurannan pääkaupunkiseudulla. Tietoja kerätään sekä automaattisilla mitauslaitteilla että silmäämäärisesti tarkkailemalla lähinnä liikenneturvallisuustyötä varten. Teknillisen korkeakoulun liikennetekniikan opinnäytetoissa on myös eri yhteyksissä jonkin verran käsitelty matkanopeuksia. Ulkomaille alemman nopeustason kaksikaistaisia väyliä ei myöskään ole tutkittu laajemmin. Ruotsin tielaitos on antanut joitakin ohjeita taajamanopeuksien laskemiseksi, mutta yleensä ulkomainen kirjallisuus käsittelee korkealuokkaisempia väyliä.

Suomalaiset tutkimustulokset

Tämän tutkimuksen väylistä Finnoontie, Koivuviidantie ja Kuusisaarentie kuuluvat myös YTV:n matka-aikatutkimusten vakiomittausreitteihin. YTV:n vuoden 1993 syyskuussa kelluvan auton menetelmällä mitattuja keskimääräisiä matkanopeuksia edellä mainituilla väylillä (Suhonen 1994) verrattiin tässä työssä samoina kellonaikoina havaittuihin keskimääräisiin matkanopeuksiin. Vertailut tehtiin sekä rekisteritunnusaineistojen että ajoanalysaattoriaineistojen avulla. YTV:n matkanopeudet ovat 3–5 mittausajon keskiarvoja ja niihin kuuluvat myös liikennevaloista aiheutuvat viivytykset, joten ne eivät ole täysin vertailukelpoisia tämän tutkimuksen nopeuksiin, vaan antavat ehkä pikemminkin kuvan siitä paljonko liikennevalot alentavat matkanopeuksia. YTV:n ja tämän tutkimuksen keskimääräisten matkanopeuksien ja erojen suuruusluokka on esitetty taulukossa 9. Taulukosta havaitaan, että suurimmat erot esiintyvät aamuruuhkassa ja erityisesti Koivuviidantiellä, joka YTV:n mittaus-ten mukaan kuuluu Espoon hitaimpiin tiejaksoihin aamuruuhkassa.

Taulukko 9: YTV:n vuoden 1993 matka-aikatutkimuksen (Suhonen 1994) matkanopeuksien vertailu tämän tutkimuksen (TKK) matkanopeuksiin.

Tutkimuskohde	Keskimääräisten matkanopeuksien ja erojen suuruusluokka (km/h)								
	Aamuruuhka			Päiväliikenne			Iltaruuhka		
	TKK	YTV	Ero	TKK	YTV	Ero	TKK	YTV	Ero
Finnoontie P	57	47	10	57	52	5	56	50	6
Finnoontie E	51	49	2	54	49	5	53	50	3
Koivuviidantie	38	24	14	44	40	4	39	36	3
Kuusisaarentie	44	33	11	53	51	2	47	44	3

Meripellontie ja Kuusisaarentie kuuluivat Helsingin kaupungin vuoden 1995 maalis–huhtikuussa tehtyjen henkilöautoliikenteen sujuvuusmittausten mittausreiteille. Mittaukset on tehty kelluvan auton menetelmällä, jossa kolme mittauslaittein varustettua autoa ajaa vapaasti liikenteen mukana. Keskimääräiset matkanopeudet ovat ruuhkassa noin 10 ja päiväliikenteessä noin 15 mittausajon keskiarvoja (Puttonen 1995). Vertailut tehtiin samoina kellon aikoina havaittujen rekisteritunnus- ja ajoanalyysointimittausten keskimääräisten matkanopeuksien avulla. Vertailun tulokset ovat taulukossa 10, jonka mukaan erot ovat huomattavasti pienempiä kuin YTV:n nopeuksiin verrattaessa. Helsingin kaupungin mittaamat matkanopeudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin tämän tutkimuksen matkanopeudet. Yhtenä syynä on varmasti se, että sekä Kuusisaarentien että Meripellontien mittauslinkillä oli yksi liikennevaloliittymä vähemmän Helsingin kaupungin mittauksissa kuin YTV:n mittauksissa.

Taulukko 10: Helsingin kaupungin (HKI) vuoden 1995 liikenteen sujuvuustutkimuksen (Puttonen 1995) matkanopeuksien vertailu tämän tutkimuksen (TKK) matkanopeuksiin.

Tutkimuskohde	Keskimääräisten matkanopeuksien ja erojen suuruusluokka (km/h)								
	Aamuruuhka			Päiväliikenne			Iltaruuhka		
	TKK	HKI	Ero	TKK	HKI	Ero	TKK	HKI	Ero
Kuusisaarentie	45	49	-4	53	49	4	48	45	3
Meripellontie	48	48	±0	50	50	±0	48	51	-3

YTV:n vuosittain tekemässä liikennekäyttäjymisen seurantatutkimuksessa (Heino 1995) ei juuri käsitellä alemman nopeustason kaksikaistaisia väyliä. Tiedot kerätään lähinnä tielaitoksen korkealuokkaisilla väylillä sijaitsevista liikenteen automaattisista mittauspisteistä (LAM) ja Helsingin kaupungin kanta-kaupungissa sijaitsevista pisteistä. YTV:n aineistoissa on yksi LAM-piste, jossa on kaksi kaistaa, nopeusrajoitus 60 km/h ja KVL noin 10 000 ajon/vrk. Tässä Vihdintiellä sijaitsevassa mittauspisteessä koko vuorokauden keskinopeus oli 68 km/h. Finnoontiellä samantyyppisissä pisteissä mitatut keskinopeudet (15 minuutin arvoja) vaihtelivat välillä 55–65 km/h.

Keränen (1990) on diplomityössään kehittänyt liikenne-ennusteprosessin sijoitteluvaiheessa tarvittavia liikennemäärä – matka-aikafunktioita erityyppisille teille. Keräsen mukaan niillä taajaman ulkopuolisilla maanteilla, joiden nopeusrajoitus on 60 km/h, matkanopeus liikennemäärien ollessa hyvin pieniä on 62 km/h. Liikennevalottomilla esikaupunkipäätteillä, joilla nopeusrajoitus on 50 km/h, vapaa matkanopeus on Keräsen mukaan 51 km/h. Tässä työssä vapaat matkanopeudet olivat 59 km/h Finnoontien pohjoispäässä (maantie, 60 km/h), 57 km/h Finnoontien eteläpäässä ja Kuusisaarentiellä (esikaupunkipäätteitä, 50 km/h) sekä 51 km/h Meripellontien 50 km/h:n nopeusrajoitusalueella ja 56 km/h 60 km/h:n nopeusrajoitusalueella.

Haaramo (1992) on diplomityössään tutkinut liikennetilanteen kehittymistä Helsingissä viimeisten 20 vuoden ajalta. Matkanopeus- ja liikennemäärätiedot ovat peräisin YTV:n ja Helsingin kaupungin mittausaineistoista. Haaramon mukaan matkanopeudet Helsingin kaupungin rajan ylittävillä kaksikaistaisilla teillä ovat eri vuosina iltaruuhkassa vaihdelleet välillä 38–56 km/h ja päiväliikenteessä välillä 46–59 km/h. Regressiokäyrä antaa vapaaksi nopeudeksi 56 km/h.

Vatanen (1993) on diplomityössään tutkinut kaupunkiliikenteen energiankulutukseen ja päästöihin vaikuttavia tekijöitä, joista yksi tärkeä on ajonopeus. Vatasen mittaustulosten mukaan ruuhka-ajan keskimääräinen matkanopeus esikaupunkipääteillä ilman liikennevaloja on 33 km/h nopeusrajoituksen ollessa 50 km/h ja 32 km/h rajoituksen ollessa 60 km/h. Ruuhka-ajan ulkopuolella vastaavat luvut ovat 32 ja 37 km/h. Kaikki matkanopeudet ovat selvästi pienempiä kuin tässä tutkimuksessa.

Teknillinen korkeakoulu seuraa jatkuvasti tutkimittauksilla nopeuksien kehitystä Espoon katuverkolla eri nopeusrajoitusalueilla päiväliikenteessä. Vuosien 1991–1992 aineistoista tehdyn raportin mukaan (Huttunen 1993) koko mittausaineistosta lasketut keskinopeudet olivat 49–52 km/h nopeusrajoitusalueella 40 km/h, noin 56 km/h nopeusrajoitusalueella 50 km/h ja 63–64 km/h nopeusrajoitusalueella 60 km/h. Nopeudet ovat hieman suurempia kuin tämän tutkimuksen pistenopeudet päiväliikenteessä poikkeuksena Finnoontien eteläpään toinen mittauspiste, jossa nopeudet ovat reilusti yli 60 km/h 50 km/h:n nopeusrajoituksesta huolimatta.

Ulkomaiset tutkimustulokset

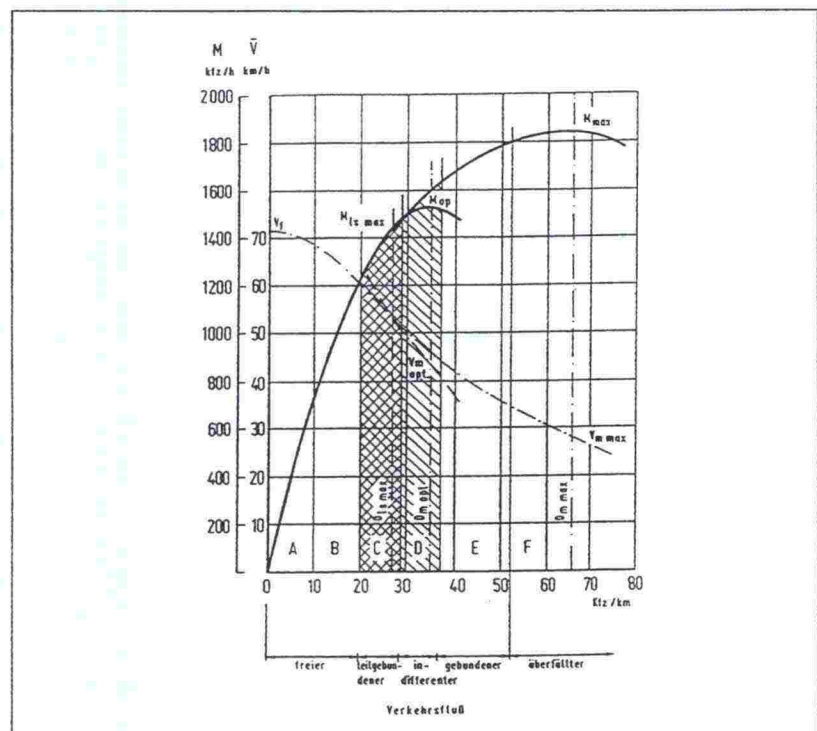
Ruotsin tielaitoksen Effektkatalog-julkaisussa (Vägverket 1989) on annettu ohjeita matkanopeuksien laskemiseksi erityyppisillä väylillä. Ohjeet perustuvat laajoihin mittausaineistoihin. Ruotsissa alin nopeusrajoitus kaksikaistaisilla maanteillä maaseutuolosuhteissa on 70 km/h. Ainoa vertailukelpoinen tutkimuskohde tämän tutkimuksen väyliltä lienee Finnoontien pohjoispää (60 km/h). Effektkatalogin mukaan keskimääräinen matkanopeus on noin 63 km/h maantiellä, jonka nopeusrajoitus on 70 km/h, päällysteen leveys 8 m ja KAVL 17 000 ajon/vrk. Finnoontien pohjoispäässä havaitut matkanopeudet olivat alle 60 km/h. Taajamissa liittymien välisillä kaksikaistaisilla linkeillä, joilla nopeusrajoitus on 50 km/h, matka-ajan perusarvo on katutypistä ja katuymäristöstä riippuen 73–80 s/km (45–49 km/h). Liikennemäärän kasvusta aiheutuva lisäaika on esim. KVL:llä 12 000 ajon/vrk noin 0,5 s, KVL:llä 15 000 ajon/vrk noin 1 s ja KVL:llä 20 000 ajon/vrk noin 3 s, joten lopulliset keskimatkanopeudet tämän tutkimuksen liikennemäärillä vaihtelisivat välillä 43 ja 49 km/h (83 ja 73,5 s/km). Tässä tutkimuksessa mitattiin kuitenkin yleensä suurempia matkanopeuksia.

Hollannissa on tutkittu vilkkaasti liikennöityjen korkealuokkaisten kaksikaististen maanteiden liikennevirran ominaisuuksia valo-ohjauksisten liittymien läheisyydessä (etäisyys liittymästä 150–400 m) ja todettu, että liittymien läheisyydessä nopeudet ovat selvästi pienempiä ja jonoprosentit selvästi suurempia kuin vapailla linjaosuuksilla kaukana liittymistä. (Botma 1994)

Saksassa liikennevirtatutkimukset ovat pääasiassa keskittyneet korkealuokkaiseen väyliin. Viimeaikaisten tutkimustulosten ja normien perusteella saksa-

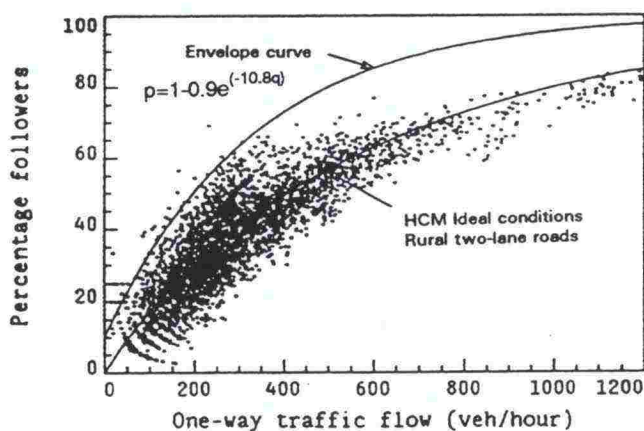
laiset ovat kehittäneet oman HCM-käsikirjansa saksalaisia väyliä varten. Kaksikaistaisen maanteiden nopeusrajoitus Saksassa on yleensä 100 km/h ja pääkatuja käsittelevässä luvussa painotetaan, että liittymien aiheuttamat viivytykset on otettava huomioon liikenteen laatua arvioitaessa. Tärkein laatu-kriteeri on matkanopeus. Poikkileikkaustyyppiä valittaessa liittymiä ei kuitenkaan oteta huomioon. Poikkileikkauksia, jotka muistuttavat alemman nopeustason kaksikaistaisia väyliä, on kahta eri tyyppiä, jotka ilmeisesti jotakuinkin vastaavat tässä tutkimuksessa käytettyjä tiemäisiä ja taajamatyyppisiä väyliä. Tiemäisillä väylillä kokonaisliikennemäärä saa olla enintään 1 000 ajon/h, jos tavoitettu matkanopeus on 50 km/h ja 1 400 ajon/h jos tavoitettu matkanopeus on 40 km/h. Taajamatyyppisillä väylillä vastaavat liikennemäärärajat ovat 700 ja 900 ajon/h. Tiemäisillä väylillä nopeusrajoitus on enintään 70 km/h ja taajamatyyppisillä enintään 60 km/h. (Brilon et al. 1993)

Saksalaisessa HCM:ssä on referoitu erästä itäsaksalaista tutkimusta, jossa on esitetty liikennemäärän, liikennetiheyden ja nopeuden välisiä riippuvaisuuksia pääkatujen vapaille linjaosuuksille, myös kaksikaistaisille osuuksille. Diagrammi on kuvassa 13 ja siinä on myös esitetty liikennetiheyden perusteella tehty palvelutasoluokitus (A–F). Vaikka liikenneolosuhteet entisessä Itä-Saksassa ovat muuttuneet huomattavasti ja diagrammi kaipaisi päivitystä, antaa se kuitenkin saksalaisen HCM:n mukaan melko hyvän kuvan sujuvasta ja häiriintymättömästä liikennevirrasta. Alemman nopeustason väylillä havaitut nopeus–liikennemäärä–tiheys–riippuvaisuudet noudattavat kohtalaisesti kuvassa esitettyjä kuvaajia. (Spranger & Arndt 1986, Brilon et al. 1993)



Kuva 13: Liikennemäärän, liikennetiheyden ja nopeuden väliset riippuvaisuudet itäsaksalaisen tutkimuksen mukaan. (Brilon et al. 1993)

Etelä-Afrikassa tehdyssä tutkimuksessa (Joubert & van As 1994) on mm. tutkittu jononmuodostusta etuajo-oikeutettuun liittymään saapuvassa liikennevirrassa. Mitatut jonoprosentit (jonokriteeri 4 s) eri liikennemäärillä kaksi- ja nelikaistaisilla kaduilla on esitetty kuvassa 14. Esitetyt jonoprosentit ovat noin 10 prosenttiyksikköä pienempiä kuin tässä tutkimuksessa, mikä osittain selittyy lyhyemmällä jonokriteerillä.



Kuva 14: Jonoprosentin riippuvaisuus liikennemäärästä kaksi- ja nelikaistaisilla kaduilla Etelä-Afrikkalaisen tutkimuksen mukaan. (Joubert & van As 1994)

7.2 Vertailu muuntityypisiin teihin

Korkealuokkaisempien kaksikaistaisten teiden liikennevirtaa on Suomessa tutkittu melko perusteellisesti 1980- ja 1990-luvuilla. Tutkimusmenetelminä on pääasiassa käytetty liikenneanalyysointimittauksia ja rekisteritunnustutkimuksia mutta myös jonkin verran liikkuvan auton menetelmää. Kaikki vertailut on tehty mahdollisimman laajoille aineistoille, ja näin ollen tulos saattaa olla erilainen yksittäisiä mittauspisteitä tai tiejaksoja verrattaessa.

Pistenopeuksien vertailu

Nopeustaso on luonnollisesti korkeampi korkealuokkaisilla kuin alemman nopeustason väylillä, joilla liikenne alhaisen nopeusrajoituksen vuoksi koko ajan kulkee pakotetussa tai jopa häirityssä tilassa. Tällöin voisi kuvitella, että keskinopeuden ja liikennemäärän välinen riippuvaisuus on heikompi alemman nopeustason väylillä. Tässä tutkimuksessa keskinopeuden lasku ajosuunnan liikennemäärän kasvaessa 1 000 ajon/h oli 1–3 km/h nopeusrajoitusalueella 60 km/h, 3–7 km/h rajoitusalueella 50 km/h ja noin 4 km/h rajoitusalueella 40 km/h. Käytännössä liikennemäärän vaihtelualue alemman nopeustason väylillä on pienempi kuin 1 000 ajon/h.

Tavallisilla kaksikaistaisilla maanteillä keskinopeuden lasku nopeusrajoitusalueella 80 km/h on todettu olevan 3–7 km/h ja nopeusrajoitusalueella 100 km/h 6–10 km/h 1 000 ajoneuvoa kohti (Pursula & Sainio 1985). Moottoriliikenneteillä (nopeusrajoitus 100 km/h) keskinopeus alenee 1–8 km/h

suunnan liikennemäärän kasvaessa 1 000 ajon/h (Enberg & Pursula 1992). Lahden moottoriliikennetien ohituskaistatieosuuden kaksikaistaisilla osuuksilla, joilla on ohituskielto molempiin suuntiin, keskinopeuden muutos 1 000 ajoneuvoa kohti on 4–13 km/h (Enberg 1994).

Keskinopeuden ja liikennemäärän välinen riippuvaisuus on siis hieman loivempi alempiluokkaisilla kuin korkealuokkaisilla väylillä, niin kuin voisi olettaakin. Kaikilla nopeusrajoituksilla ja tietyypeillä nopeuden riippuvaisuus liikennemäärästä kuitenkin vaihtelee huomattavasti mittauspisteestä toiseen. Pienimmillään liikennemäärän vaikutus nopeuksiin on alemman nopeusluokan väylillä rajoitusalueella 60 km/h.

Matkanopeuksien vertailu

Keskimääräisen matkanopeuden riippuvaisuus suunnan liikennemäärästä on voimakkaampi kuin pistenopeuden riippuvaisuus. Tässä tutkimuksessa keskimääräinen matkanopeus pieneni noin 5 km/h 1 000 ajoneuvoa kohti niillä tiejaksoilla, joilla nopeusrajoitus oli 40 tai 60 km/h, ja 4–6 km/h niillä tiejaksoilla, joilla nopeusrajoitus oli 50 km/h. Kuusisaarentiellä (50 km/h) nopeuden lasku oli 10 km/h, mutta liikennevaloihin kerääntyneen jonon ulottuminen tutkimusalueelle vaikutti luultavasti asiaan.

Tavallisilla kaksikaistaisilla maanteillä on tehty matkanopeustutkimuksia 1980-luvun alkupuolella. Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen ja Helsingin yliopiston mittaustulosten mukaan ajosuunnan liikennemäärän kasvu 1 000 ajon/h alentaa matkanopeutta noin 3–7 km/h nopeusrajoitusalueella 80 km/h ja noin 5–11 km/h rajoitusalueella 100 km/h. Nopeusrajoituksella 60 km/h nopeuden laskuksi saatiin noin 5 km/h. (Enberg & Pursula 1986)

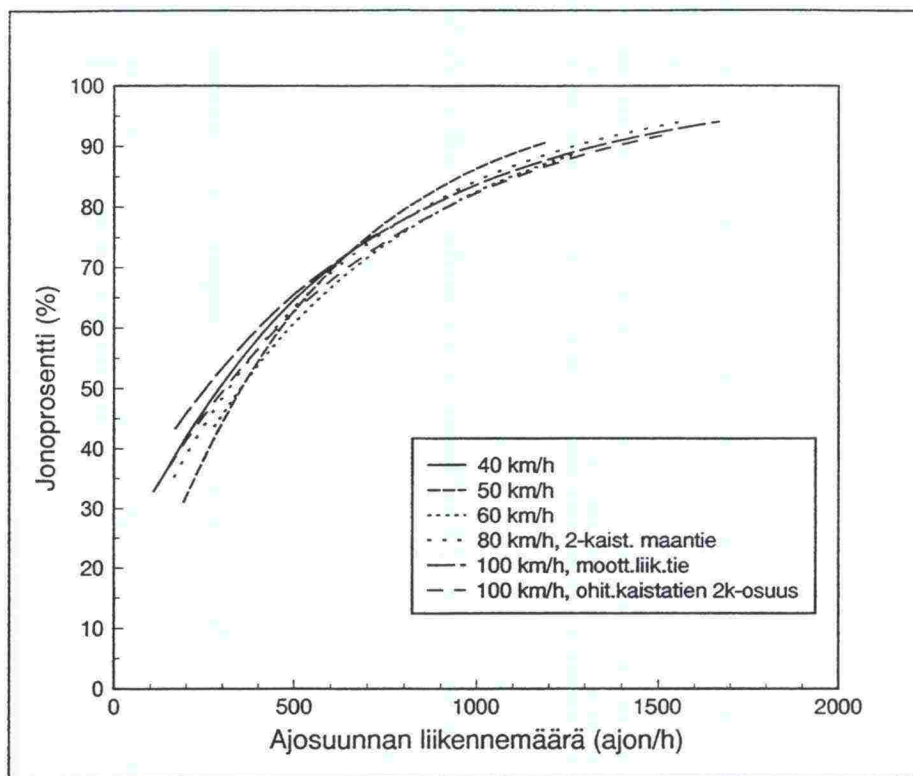
Tavallisilla moottoriliikenneteillä matkanopeuden lasku suunnan liikennemäärän kasvaessa 1 000 ajon/h on todettu olevan noin 9 km/h vuonna 1987 julkaistussa tutkimuksessa (Summala 1987) ja noin 5 km/h vuonna 1992 julkaistussa tutkimuksessa (Enberg & Pursula 1992). Ohituskaistatiellä matkanopeuden aleneminen liikennemäärän kasvaessa on sujuvassa liikenteessä hieman hitaampaa kuin tavallisella moottoriliikennetiellä.

Yhteenvetona voi sanoa, että liikennemäärän kasvu tuhannella ajoneuvolla tunnissa alentaa keskimääräistä matkanopeutta keskimäärin noin 5 km/h nopeusrajoituksesta ja väylätyypistä riippumatta. Nopeusrajoituksella 100 km/h esiintyy kuitenkin myös voimakkaampia riippuvaisuuksia.

Jonojen vertailu

Jonoprosenttien vertailu erityyppisillä kaksikaistaisilla teillä on esitetty *kuvassa 15*. Kuvista nähdään, että jonoprosentit ovat samaa suuruusluokkaa alemman ja korkeamman luokan väylillä. Korkealuokkaisten teiden käyrät sijoittuvat alempiluokkaisten teiden 50 ja 60 km/h nopeusrajoitusalueiden väliin. Pienillä liikennemäärillä tavallisella moottoriliikennetiellä on hieman enemmän jonoajoneuvoja kuin muilla teillä.

Jonon keskipituuksien vertailu erityyppisillä kaksikaistaisilla teillä on esitetty *kuvassa 16*. Pienillä liikennemäärillä jonojen pituus näyttää olevan riippumaton väylätyypistä ja nopeusrajoituksesta, mutta liikennemäärän kasvaessa jonot pitenevät erityisesti nopeusrajoitusalueilla 50 ja 80 km/h.



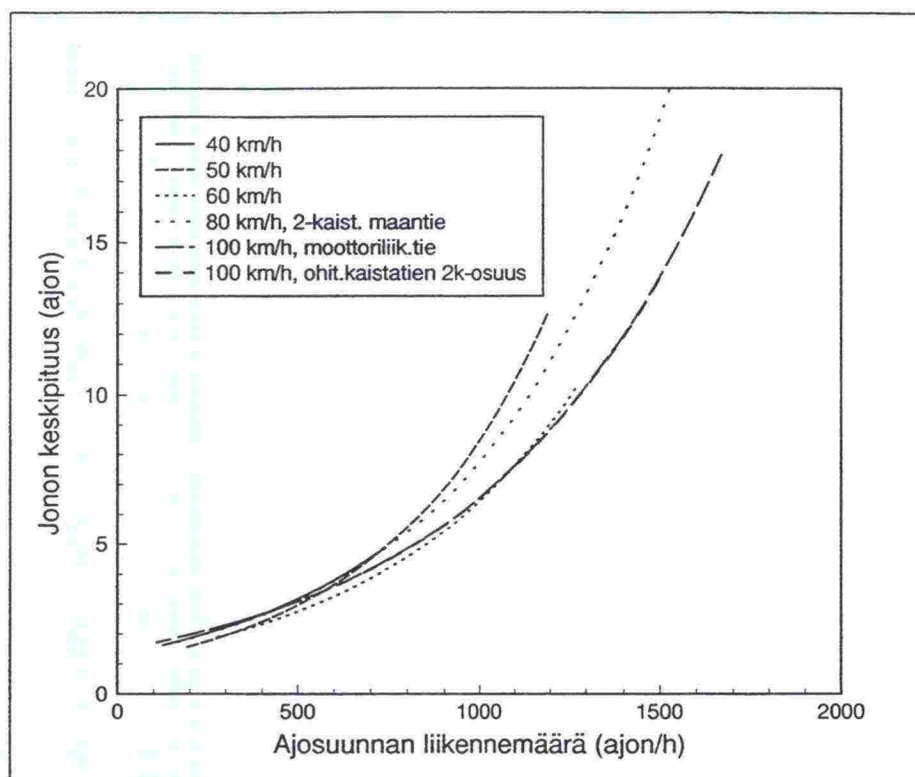
Kuva 15: Jonoprosentin riippuvaisuus suunnan liikennemäärästä erityyppisillä kaksikaistaisilla teillä.

Muut vertailut

Kiihtyvyyshajontoja verrattiin Seppälän (1972) diplomityössä maanteiltä saatuihin kiihtyvyyshajontoihin. Alemman nopeustason väylien ja tavallisten maanteiden kiihtyvyyshajonnat olivat samaa suuruusluokkaa. Tosin vertailu tämän tutkimuksen tuloksiin on hieman kyseenalaista, koska vuonna 1972 käytetty ajoanalysaattori tallensi nopeudet ainoastaan 10 s välein, kun nyt käytössä oleva analysaattori tallentaa tiedot 1 s välein.

Lyhyiden alle 1,5 s aikavälien osuus oli samoilla liikennemäärillä suunnilleen sama kuin alle 1 s aikavälien osuus moottoriliikenneteillä. Alemman nopeustason teillä lyhyiden aikavälien osuus kasvoi liikennemäärän kasvaessa. Moottoriliikenneteillä ja tavallisilla kaksikaistaisilla teillä liikennemäärän vaikutus lyhyiden aikavälien osuuteen ei ole ollut yhtä selvää (Enberg & Pursula 1992, Pursula & Sainio 1985).

HCM:n mukaiset palvelutasotarkastelut kaksikaistaisia maanteitä varten antavat liian huonon kuvan alemman nopeustason väylien palvelutasosta. Syynä on alhaisemman nopeustason lisäksi HCM:n laskelmissa käytetyt korjauskertoimet, jotka soveltuvat huonosti suomalaisiin olosuhteisiin. HCM todennäköisesti liioittelee esim. geometrysten tekijöiden vaikutusta, mikä näkyy erityisesti v/c-kertoimessa. Aikaisemmin on arveltu, että HCM antaa todellista huonomman kuvan myös tavallisista kaksikaistaisista maanteistä (Enberg 1988) mutta todellista paremman kuvan moottoriliikenneteiden palvelutasosta (Enberg & Pursula 1992).



Kuva 16: Jonon keskipituuden riippuvaisuus suunnan liikennemäärästä erityyppisillä kaksikaistaisilla teillä.

7.3 Tutkimusmenetelmien vertailu

Tutkimusmenetelminä käytettiin rekisteritunnustutkimuksia videokameroilla, pistemittauksia induktiosilmukoilla ja liikenneanalysointilaitteilla sekä matka-aika- ja viivytysmittauksia ajoanalysointilaitteilla varustetulla autolla. Käytetyt mittausmenetelmät, mittausten suoritustapa ja aineistojen peruskäsittely on selostettu tarkemmin laajemmassa raportissa.

Rekisteritunnustutkimusten hyviä puolia ovat sekä tieosakohtaisen että pisteosakohtaisen tiedon saanti lähes jokaisesta ajoneuvosta. Matkanopeudet ovat rekisteritunnustutkimusten tärkein tulos. Rekisteritunnustutkimusten ongelmana ovat niiden, lähinnä hitaasta ja manuaalisesta purkutyöstä aiheutuvat, korkeat kustannukset. Lisäksi ne vaativat huolellisuutta sekä mittajilta että mittaustulosten purkajilta.

Liikenneanalysointilaitteista saadaan erittäin tarkkoja ja luotettavia tietoja pistenopeuksista, aikaväleistä ja jonoista. Aineistot ovat käytettävissä heti ilman aikaa vievää purkutyötä. Mittauspisteiden valintaan on kiinnitettävä huomiota, koska tulokset kuvaavat vain mittauspisteen tilannetta. Geometrialtaan vaihtelevalla väylällä mittauspisteitä pitäisi olla tiheästi. Jos mittausantureina käytetään teipattuja silmukoita, mittauksia voi tehdä ainoastaan kesällä lämpimällä ja kuivalla säällä. Kiinteät silmukat mahdollistaisivat ympärivuotiset mittaukset, mutta ne ovat kalliita.

Ajoanalysointiajot instrumentoidulla autolla antavat hyvän yleiskuvan valitsevast liikennetilanteesta. Liikennevirrassa mukana ajaen saa helposti ja

nopeasti tietoja nopeustasosta, häiriökohdista ja viivytyksistä edellyttäen että ajokertoja on riittävästi, että mittausauto ajaa liikennevirran mukana ja ettei kuljettajan ajotapa vaikuta tuloksiin.

Rekisteritunnustutkimuksista saatavat matkanopeudet antavat luotettavamman kuvan tutkittavan väylän liikenteellisistä ominaisuuksista kuin liikenneanalyysointimittauksista saatavat pistenopeudet. Liikenneanalyysointipisteiden sijainnilla on ratkaiseva vaikutus pistemittausten tuloksiin, kun taas matkanopeudet antavat tietoa koko tutkittavalta väylältä eivätkä vain yhdestä tarkastelupisteestä. Yleensä silmukkapisteet pyritään lisäksi valitsemaan siten, että liikennevirrassa olisi siinä kohdassa mahdollisimman vähän häiriöitä, eli mittauspisteet sijoitetaan kohtiin, joissa nopeudet ovat korkeimmillaan ja geometriset ja liikenteelliset ominaisuudet parhaimmillaan. Pistemittaukset riittävän monessa, väylälle tyypillisessä poikkileikkauksessa antavat kuitenkin tarvittaessa nopeasti hyvin tarkkoja tietoja liikennevirrasta.

Matkanopeudet saadaan selville sekä rekisteritunnustutkimuksella että ajoanalyysointimittauksilla. Jos ajoanalyysointimittaukset voisivat korvata rekisteritunnustutkimukset, kustannussäästöt olisivat huomattavat. Koska molempia menetelmiä käytettiin rinnakkain, samoina kellonaikoina ja samoilla liikennemäärillä tehtyjen rekisteritunnustutkimusten keskimääräisiä ja ajoanalyysointiajojen yksittäisiä matkanopeuksia voitiin verrata. Vertailu osoitti, että ajoanalyysointimittausten matkanopeudet vaihtelevat enemmän kuin rekisteritunnusmittausten keskimääräiset matkanopeudet samoilla liikennemäärillä. Nopeudet ovat samaa suuruusluokkaa, mutta välillä ajoanalyysointin matkanopeus on suurempi ja välillä pienempi kuin rekisteritunnusmittausten keskimääräinen matkanopeus. Tämä on luonnollista koska ajoanalyysointin matkanopeus kuvaa vain mittausauton matkanopeutta, joka vaihtelee ajosta toiseen, ja johon kuljettajan ajotapakin saattaa vaikuttaa, vaikka hän ajaisikin muun liikenteen mukana. Rekisteritunnustutkimusten matkanopeus on sen sijaan kaikkien tutkittavan tiejakson läpiajaneiden ajoneuvojen matkanopeuksien harmoninen keskiarvo. Vertailun perusteella ajoanalyysointimittaukset eivät voi korvata rekisteritunnustutkimuksia. Tämä edellyttäisi useita mittausautoja, jotka liikkuisivat eri kohdassa tutkittavaa väylää samanaikaisesti. Autojen ja ajokertojen lukumäärä määräytyisi tapauskohtaisesti tutkittavan väylän ominaisuuksien perusteella. Jos mittausautoja on useampia, ajoanalyysointimittausten kustannusetu rekisteritunnustutkimuksiin verrattuna pienee. Liikennemäärien selvittämiseksi tarvittaisiin ajoanalyysointiajojen lisäksi samanaikaisia liikennelaskentoja.

Kaikki mittausmenetelmät ovat hyviä ja antavat sekä yksinään että yhdessä hyvin monipuolisen kuvan liikennevirrasta. Mikään niistä ei pysty kokonaan korvaamaan toista ja kaikkia menetelmiä olisi syytä käyttää rinnakkain, jos halutaan niin monipuolista tietoa kuin tässä tutkimustyössä haluttiin. Käytännön suunnittelutarpeita varten riittänee kuitenkin suppeampi mittausjärjestelmä. Rekisteritunnustutkimus antaa useimmiten jo yksinään riittävän monipuolista tietoa tutkittavan väylän liikennevirrasta. Mikäli pistekohtaisia liikenneanalyysointimittauksia tehdään vain yhdessä tai muutamassa poikkileikkauksessa, niitä tulisi aina täydentää joko ajoanalyysointimittauksilla tai suppealla rekisteritunnustutkimuksella. Mittauksia tulisi mahdollisuuksien mukaan tehdä sekä vilkkaassa ruuhkaliikenteessä että hiljaisessa päiväliikenteessä.

8 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Tässä tutkimustyössä haluttiin nimenomaan tutkia liikenteen käyttäytymistä kaksikaistaisilla kaksisuuntaisilla väylillä, jotka ovat vilkkaasti liikennöityjä (yli 10 000 ajon/vrk) ja joilla ei ole liikennevaloja eikä suuria liittymiä. Tutkittavan tieosuuden pituuden tuli olla mahdollisimman pitkä, jotta tutkimusalueen päissä olevien liikennevalojen vaikutukset jäisivät pois. Valitut väylät ovat siis tavallaan tavallisia kaksikaistaisia maanteitä, joiden nopeusrajoitus kuitenkin on alempi kuin tavanomaisissa maaseutuolosuhteissa. Alhainen nopeusrajoitus voi johtua mm. huonosta geometriasta ja kapeasta poikkileikkauksesta, ympäröivästä maankäytöstä, runsaasta risteävästä, liittyvästä ja erkanevasta liikenteestä, kevyen liikenteen järjestelyistä tai yksinkertaisesti siitä, että liikenneturvallisuus- tai muista syistä ei haluta korkeampia nopeuksia.

Tutkittavat väylät jaettiin tiemäisiin ja taajamatyyppisiin väyliin nopeusrajoituksen, ajoradan leveyden ja väyläympäristön perusteella. Jako helpotti lähinnä aineistojen käsittelyä. Itse asiassa jokaisella väylällä ja sen liikenteellä on oma luonteensa ja samalla väylällä saattaa esiintyä sekä tiemäisiä että taajamatyyppisiä jaksoja. Tutkituista väylistä Finnoontien pohjoispää oli selvästi tiemäinen ja Koivuviidantie selvästi taajamatyyppinen väylä, kuten jo nopeusrajoituksistakin voisi päätellä. Muut väylät olivat enemmän tai vähemmän edellä mainittujen välimuotoja.

Taajamaliikenteessä liikenteen sujuvuus on riippuvainen monista eri tekijöistä. Väylätyyppi ja nopeusrajoitus vaikuttavat oleellisesti liikennevirran luonteeseen. Alhaiset nopeusrajoitukset pakottavat autoilijat ajamaan jonossa ja suurista liikennemääristä ja/tai liikennevaloista aiheutuvia viivytyksiä esiintyy erityisesti aamu- ja iltaruuhkassa. Ohituksiakaan ei voi tehdä, koska näkemät ovat huonot ja vastaan tulevia on aina. Toisaalta autoilijat ovat totuneet ajamaan jonossa ja hyväksyvät alhaiset nopeudet toisin kuin maaseutuolosuhteissa, joissa nopeudet ovat huomattavasti korkeammat ja pienikin viivytys ärsyttää.

Työn tavoitteiden ja tulosten vastaavuus

Seuraavassa käsitellään työn tavoitteiden ja tulosten vastaavuutta. **Tietous** alemman nopeustason kaksikaistaisen väylien **liikennevirrasta** on parantunut huomattavasti, koska aikaisemmin liikennevirtatietous näiltä väyliltä käytännössä puuttui. Kaikki tärkeimmät liikennevirran perusominaisuudet ja niiden väliset riippuvaisuudet tutkittiin kuudella vilkkaasti liikennöidyllä väylällä, joilla nopeusrajoitus oli 40, 50 tai 60 km/h. Väyliä luonne vaihteli taajamatyyppisistä ja paljon taajamatoimintoja ympäröivistä katumaisista väylistä tiemäisiin, melkein maaseutuoloissa oleviin teihin. Tärkeimmät liikennevirran ominaisuuksia kuvaavat tulokset on esitetty seuraavassa.

Tutkituilla alemman nopeustason kaksikaistaisilla väylillä ajosuunnan liikennemäärien vaihtelualue tutkimusten aikana oli 128–1360 ajon/h. Ruuhkaliikenteessä havaitut suunnittaiset maksimiliikennemäärät olivat tutkimuskohteesta riippuen 764–1360 ajon/h. Keskinopeudet laskivat 1–3 km/h nopeusrajoituksella 60 km/h, 3–7 km/h nopeusrajoituksella 50 km/h ja 4 km/h nopeusrajoituksella 40 km/h ajosuunnan liikennemäärän kasvaessa 1 000 ajon/h. Vastaavat luvut keskimääräisille matkanopeuksille olivat 5 km/h

nopeusrajoituksilla 40 ja 60 km/h sekä 4–6 km/h nopeusrajoituksella 50 km/h. Poikkeuksena oli Kuusisaarentie, missä keskimääräinen matkanopeus pieneni 10 km/h 1 000 ajoneuvoa kohti.

Ominaisuusoritetta (liikennemäärän ja keskimääräisen matkanopeuden tulo), joka kuvaa liikennemäärän tehokkuutta, tarkasteltiin liikennetiheyden avulla. Ominaisuusoritteiden maksimi-arvo saavutetaan ennen kuin liikennemäärä on kasvanut niin suureksi että välityskyky on saavutettu. Tällöin liikenne on tehokkaimmillaan. Ominaisuusoritteiden maksimi-arvot määriteltiin silmämääräisen tarkastelun perusteella, koska ominaisuusoritteet nousivat vain harvoin niin suuriksi että tarkkaa arvoa olisi voinut määritellä. Ominaisuusoritteiden maksimi-arvot olivat nopeusrajoitusalueilla 60, 50 ja 40 km/h vastaavasti 65 000, 55 000 ja 35 000 (ajon*km)/h². Ominaisuusoritteiden käyttö liikenteen tehokkuuden ja palvelutason mittarina edellyttäisi kuitenkin lisää mittauksia ruuhkaliikenteessä, jolloin saataisiin enemmän havaintoja lähellä ominaisuusoritteiden maksimia. Ominaisuusoritteiden maksimi-arvon määrittäminen on kuitenkin helpompaa kuin välityskykyä vastaavan liikennemäärän selvittäminen, sillä käytännössä välityskyvyn arvioiminen yksittäisten mittaustulosten perusteella on useimmiten epävarmaa.

Keskimääräiset viivytykset kuten myös viivytettynä ajon osuus matka-ajasta lisääntyivät liikennemäärän kasvaessa. Kiihtyvyyshajonta pieneni matkanopeuden kasvaessa. Kaikissa viivytyksiä kuvaavissa tunnusluvuissa oli paljon vaihtelua ja selviä riippuvaisuuksia ei voitu todeta.

Pienillä liikennemäärillä jonossa ajavien osuus oli noin 2–10 prosenttiyksikköä suurempi nopeusrajoituksella 40 km/h kuin muilla nopeusrajoituksilla. Suuremmilla liikennemäärillä jonoprosentti oli 3–4 prosenttiyksikköä suurempi nopeusrajoituksella 50 kuin 60 km/h. Jonojen keskipituus oli noin 0,5–3,5 ajoneuvoa pienempi nopeusrajoituksella 60 km/h kuin muilla nopeusrajoituksilla ja ero kasvoi liikennemäärän kasvaessa.

Tutkittujen väylien välityskyvyt laskettiin sekä ruotsalaisen menetelmän että amerikkalaisen Highway Capacity Manualin mukaan. Molemmat menetelmät antoivat liian pienet välityskykyarvot. Vain yhden ainoan 15 min aikajakson ajaksi liikennemäärä ylitti lasketun välityskyvyn.

Varsinaisia **liikennevirtaongelmia** tai ylikuormitustilanteita ei tutkituilla väylillä ollut. Havaitut liikennemäärät olivat ainoastaan hetkellisesti niin suuria että pieniä häiriöitä esiintyi. Väylien toimivuudesta todella kuormitetussa tilanteessa ei siis saatu kenttähavaintoja, vaikka tutkimuskohteiksi valittiin ne pääkaupunkiseudun kaksikaistaiset väylät, joilla on suurimmat liikennemäärät. Sen sijaan tutkimusalueiden päissä olevissa liikennevaloissa esiintyi luonnollisesti viivytyksiä ja pysähdyksiä, ja joissakin tapauksissa liikennevalojen aiheuttamat häiriöt ulottuivat myös linjaosuuksille. Ruuhkautuneempiakin väyliä olisi ollut olemassa, mutta käytännössä niille väylille, joilla liikennemäärät ovat suurempia kuin nyt tutkituilla väylillä, on jo rakennettu liikennevaloja ja lisätty ajokaistoja.

Kaikki käytetyt **mittausmenetelmät** osoittautuivat käyttökelpoisiksi alemman nopeustason väylien liikennevirtatutkimuksia varten. Tulokset olivat käyttökelpoisia ja menetelmät täydentävät toisiaan. Tutkimusmenetelmien vertailu osoitti, että tutkimustarpeita ajatellen kaikkia menetelmiä olisi syytä käyttää

rinnakkain, koska mikään niistä ei pysty kokonaan korvaamaan toisia. Käytännön suunnittelutarpeita varten useimmiten riittää rekisteritunnustutkimus tai pistemittaukset yhdistettyinä ajoanalysointimittauksiin tai suppeaan rekisteritunnustutkimukseen. Täysin uusia menetelmiä ei tätä työtä varten kehitetty, vaan vanhoja jo aikaisemmin käytössä olevia menetelmiä parannettiin.

Tulevaisuudessa tulisi kiinnittää enemmän huomiota mittauslaitteiden valitsemiseen ja sijoittamiseen maastoon niin, ettei niitä havaita tutkittavista ajoneuvoista. Rekisteritunnusmittausten videonauhojen purkua varten tulisi harkita automaattisen tai puoliautomaattisen purkulaitteen kehittämistä tai ostamista. Ajoanalysointia varten tulisi kehittää monipuolisempia käsittelyohjelmia, joiden avulla esim. viivytystarkasteluja voisi tehdä yksityiskohtaisemmin ja nopeammin kuin nykyisillä peruskäsittelyohjelmilla.

Tutkimusmenetelmiä, joita olisi voitu käyttää mutta joista korkeiden kustannusten, suuren työmäärän tai mittausvälineiden puuttumisen vuoksi luovuttiin, ovat videokuvaukset helikopterista, yksittäisen ajoneuvon nopeuden seuranta tietyllä matkalla esim. lasertutkalla sekä simulointi tarkoitukseen sopivalla ohjelmistolla.

Kenttämittaukset sujuivat suunnitelmien mukaisesti. Teipattujen induktiosilmukoiden käyttö siirsi kuitenkin liikenneanalysointimittauksia parilla viikolla eteenpäin lämpimämpää säätä odotellessa, mistä syystä rekisteritunnustutkimuksia ja liikenneanalysointimittauksia ei pystytty tekemään samanaikaisesti muualla kuin Meripellontiellä. Toisaalta tällä tavalla saatiin tietoa liikennevirrasta useammalta päivältä.

Palvelutasomittareiden kehittäminen alemman nopeustason väylien liikennevirtaa varten osoittautui odotettua vaikeammaksi. Tutkittujen väylien liikennemäärät eivät missään vaiheessa nousseet niin suuriksi, että liikenteen toimivuuden rajakohtia olisi voinut analysoida. Alunperin oli ajateltu, että jokin viivytyksiin perustuva tunnusluku sopisi palvelutasomittariksi, mutta havaitut viivytykset olivat suhteellisen pieniä ja niiden riippuvaisuus esim. liikennemäärästä tai matkanopeudesta oli hyvin vähäinen tai lähes olematon.

Tutkittavien väylien palvelutasot laskettiin kolmella eri menetelmällä, jotka kaikki perustuvat HCM:iin. Kaksikaistaisia maanteitä varten kehitetyt menetelmät, joissa palvelutason määrittäminen perustuu viivytysprosenttiin (jonoprosenttiin) ja välityskyvyn käyttöasteeseen, antavat todellisia selvästi huonompia palvelutasoja alemman nopeustason väylille. Todennäköisiä syitä on tarkasteltu kohdassa 7.2. Myös aikaisemmissa suomalaisissa tutkimuksissa on todettu, että HCM:n antamat korjauskertoimet eivät sellaisenaan sovi suomalaisiin olosuhteisiin. Kertoimien ohella HCM:n käyttämä nopeus – liikennemäärä riippuvaisuus on myös erilainen eli jyrkempi kuin suomalaisilla teillä. Yhtenä epäkohtana palvelutasolaskelmissa oli myös se, että luokassa E, johon lähes kaikki tutkitut väylät kuuluivat, liikennemäärien vaihteluväli on melko laaja, joten eri väylät sijoittuivat eri kohtiin luokassa E. Väylien välisiä palvelutasoeroja ei kuitenkaan nykyisen teknisen luokituksen avulla ole mahdollista ilmaista. Yksi ratkaisu tähän ongelmaan voisi olla kuljettajien omiin sanallisiin arviointeihin ja kokemuksiin perustuvien palvelutasojen määrittäminen. Tähän tarkoitukseen sopisi esim. sumean logiikan menetelmä.

Jos kaksikaistaisten teiden palvelutasotarkasteluja haluaa jatkossa tehdä HCM:n menetelmiä käyttäen, tulisi kehittää omia suomalaisia korjauskertomuksia, jotka paremmin vastaavat todellista liikennetilannetta. Sitä varten tarvitaan kuitenkin nykyisiä laajempia mittausaineistoja erityyppisistä ja eritasoisista teistä.

Palvelutasotarkastelut tehtiin myös HCM:n pääkatuja varten tarkoitetulla taajamaväylämenetelmällä, jossa palvelutason määrittäminen perustuu keskimääräiseen matkanopeuteen. Tämä menetelmä osoittautui paremmaksi kuin kaksikaistaisia teitä varten tarkoitetut menetelmät. Menetelmää käytettäessä on kuitenkin muistettava, että se soveltuu ainoastaan liikennevalollisten alemman nopeustason väylien palvelutason määrittämiseen. Palvelutasorajoja määritettäessä liikennevalojen aiheuttamat viivytykset on otettu huomioon, ja näinollen HCM:n palvelutasorajoja ei tule käyttää liikennevalottomilla alemman nopeustason väylillä. Tällaisille väylille tulisi kehittää uudet esim. viivytyksiin tai matkanopeuteen perustuvat palvelutasorajat. Tämän tutkimuksen väylille HCM:n taajamaväylämenetelmä kuitenkin soveltui hyvin, sillä ajoanalysaattoriajoista saatiin myös liikennevalojen aiheuttamat viivytykset. Palvelutason täysin luotettava kuvaaminen olisi kuitenkin edellyttänyt enemmän ruuhkaliikenteen ajoanalysaattoriajoja.

Kenttämittaukset eivät kaikesta huolimatta ehkä antaneet riittävästi perusteita mittausmetodiikan **arvioimista** varten ja suomalaisiin olosuhteisiin sopivien palvelutasomittareiden kehittämistyötä tulisi edelleen jatkaa. Nyt tutkittiin ainoastaan valo-ohjauksisten liittymien väliset linjaosuudet, joilla liikennevirta ainakin periaatteessa on katkeamatonta. Käytännössä sinänsä sujuva liikennevirta kuitenkin katkeaa heti seuraavassa liittymässä, mistä syystä liikennevirran sujuvuutta vapailla linjaosuuksilla ja niitä yhdistävissä valo-ohjauksissa liittymissä tulisi tutkia yhtenä kokonaisuutena eikä erikseen, sillä tien käyttäjän kannalta kokonaisuus kuitenkin ratkaisee. Tällaisten valo-ohjauksisten tiejaksojen liikennevirran tarkasteluun simulointi sopisi erittäin hyvin. Simuloinnilla voidaan tutkia sellaisia liikenne- ja ylikuormitustilanteita, joita ei käytännön syistä ole mahdollista tutkia empiiristen tutkimusten avulla. Simulointia käyttämällä voidaan myös vähentää kalliden kenttätöiden määrää.

Esimerkiksi Hollannissa ollaan luopumassa perinteisestä HCM:n palvelutasoluokituksesta. Tienkäyttäjän reitti muodostuu erityisesti taajama-alueilla useasta peräkkäisestä liittymästä, joiden välissä on suhteellisen lyhyitä tie- tai katujaksoja, joiden geometriset ja liikenteelliset ominaisuudet saattavat vaihdella ja jotka lisäksi vaikuttavat toisiinsa. Tienkäyttäjän kannalta palvelutaso määräytyy huonoimmin toimivan linkin perusteella. Tällöin perinteiset HCM:n menetelmät soveltuvat huonosti palvelutason määrittämiseksi. Tilalle on kehitetty menetelmä, jossa indikaattorina on se osuus vuorokauden liikenteestä, joka joutuu ruuhkaan (liikennemäärä suurempi kuin välityskyky). (Stembord 1991)

9 KIRJALLISUUSLUETTELO

Botma, H. 1994. Traffic operation on two-lane rural roads near a controlled intersection. In: Akçelik, R (Ed.): Proceedings of the Second International Symposium on Highway Capacity, Volume 1. Australian Road Research Board Ltd. Transportation Research Board, Committee A3A10. Sydney, Australia, August 1994. pp. 131-150

Brilon, W., Großmann, M. & Blanke, H. 1993. Verfahren für die Berechnung der Leistungsfähigkeit und Qualität des Verkehrsablaufes auf Straßen. Entwurf eines Handbuchs. Teil A & Teil B. Forschungsbericht FE-Nr. 02.141 R90F im Auftrag des Bundesministers für Verkehr. Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum. 380 + 382 S.

Drew, D. 1968. Traffic Flow Theory and Control. New York, McGraw-Hill. 467 pp.

Enberg, Å. 1988. Köbildning på tvåfältsvägar. Tekniska högskolan, avdelningen för lantmäteri och byggnadsteknik, trafikteknik. Diplomarbete. Otnäs. 255 s.

Enberg, Å. 1994. Ohituskaistatien liikennevirran ominaisuudet. Tielaitos, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 31/1994. TIEL 3200241. Helsinki. 148 s. + liitt. 108 s.

Enberg, Å. & Pursula, M. 1986. Matkanopeuden ja liikennemäärän riippuvaisuus maantieolosuhteissa. Tie- ja vesirakennushallitus, tiensuunnittelutoimisto. Teknillinen korkeakoulu, liikennelaboratorio. Julkaisematon muistio. 17 s.

Enberg, Å & Pursula, M. 1992. Moottoriliikennetien liikennevirran ominaisuudet. Tiehallitus, kehittämiskeskus. Tielaitoksen selvityksiä 12/1992. TIEL 3200068. Helsinki. 85 s. + liitt. 81 s.

Haaramo, E. 1992. Liikennetilanteen kehittyminen Helsingissä matkanopeusmittausten perusteella. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, liikennetekniikka. Diplomityö. Espoo. 156 s.

Haaramo, E. & Pursula, M. 1993. Liikennetilanne Helsingin laskentakehillä 1970–1990. Tie ja Liikenne, No 9/93. s. 6-10.

Heino, J. 1995. Liikennekäyttäytyminen pääkaupunkiseudulla 1995. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 1995:8. Helsinki. 54 s.

Hietanen, J. 1995. Liikennevirran perusominaisuudet alemman nopeustason väylillä. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, liikennetekniikka. Diplomityö. Espoo. 250 s.

Huttunen, I. 1993. Espoon alueen vuosien 1991-92 nopeusseuranta-aineiston käsittely. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, liikennetekniikka. Erikoistyö. Otaniemi. 25 s. + liitteitä 53 s.

Joubert, H.S. & van As, S.C. 1994. The effect of platooning on the capacity of priority controlled intersections. In: Akçelik, R (Ed.): Proceedings of the Second International Symposium on Highway Capacity, Volume 1. Australian

Road Research Board Ltd. Transportation Research Board, Committee A3A10. Sydney, Australia, August 1994. pp. 315-324.

Keränen, M. 1990. Liikennemäärä—matka-aikafunktiot tasapainosijoittelu-menetelmässä. Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka. Tiedote 24. Otaniemi. 127 s.

Lyly, S. 1990. Tien liikenteenvälityskyky—Highway Capacity Manual 1985. Teknillinen korkeakoulu, liikennetekniikka. Julkaisu 68. Otaniemi. 119 s.

Pursula, M. & Sainio, H. 1985. Kaksikaistaisten teiden liikennevirran perus-ominaisuudet. Tie- ja vesirakennushallitus, liikennetoimisto. Teknillinen korkeakoulu, liikennelaboratorio. TVH 741824. Helsinki. 66 s. + liitt. 46 s.

Puttonen, J. 1995. Liikenteen sujuvuus Helsingissä vuonna 1995. Helsingin kaupunki, kaupunkisuunnitteluvirasto, liikennesuunnitteluosasto. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston julkaisuja 1995:8. 58 s. + 1 liite.

Seppälä, R. 1972. Liikennevirtateoriat ja liikennöitävyys maantiiliikenteessä. Teknillinen korkeakoulu, rakennusinsinööriosasto, kulkulaitostekniikka. Diplomityö. Otaniemi. 109 s.

Spranger, E. & Arndt, U. 1986. Verfahren zur Bewertung des Verkehrsablaufes der freien Strecke und zur Bestimmung wirtschaftlicher Fahrbahnbreiten von Stadtstraßen. Die Strasse, Heft 1/1986. S. 8-12.

Statens Vägverk. 1973. Kapacitetsutredning. Litteraturstudier och analys. Statens Vägverk TV 118. Stockholm. 430 s.

Statens Vägverk. 1977. Beräkning av kapacitet, kölängd, fördröjning i vägtrafikanläggningar. Statens Vägverk TV 131. Borlänge. 309 s.

Stembord, H. 1991. Quality of service on the main road network in the Netherlands. In: Brannolte, U. (Ed.): Highway Capacity and Level of Service. Proceedings of the International Symposium on Highway Capacity, Karlsruhe 24-27 July 1991. A.A.Balkema, Rotterdam/Brookfield 1991. pp. 357-365.

Suhonen, M. 1994. Matka-aikatutkimus v. 1993. Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta YTV. Pääkaupunkiseudun julkaisusarja B 1994:5. Helsinki. 58 s.

Summala, H. 1987. Ajaminen suomalaisella ja ruotsalaisella moottoriliikenteellä. Helsingin yliopisto, liikennetutkimusyksikkö. Tutkimuksia 13:1987. Helsinki. 31 s.

Tie- ja vesirakennushallitus. 1986. Kaksikaistaisen tien liikenteellinen palvelutaso, laskentaohje. TVH 723856. Helsinki. 24 s.

Transportation Research Board. 1994. Highway Capacity Manual. Special Report 209. Third Edition, updated 1994. TRB, Transportation Research Council. Washington D.C. 579 s.

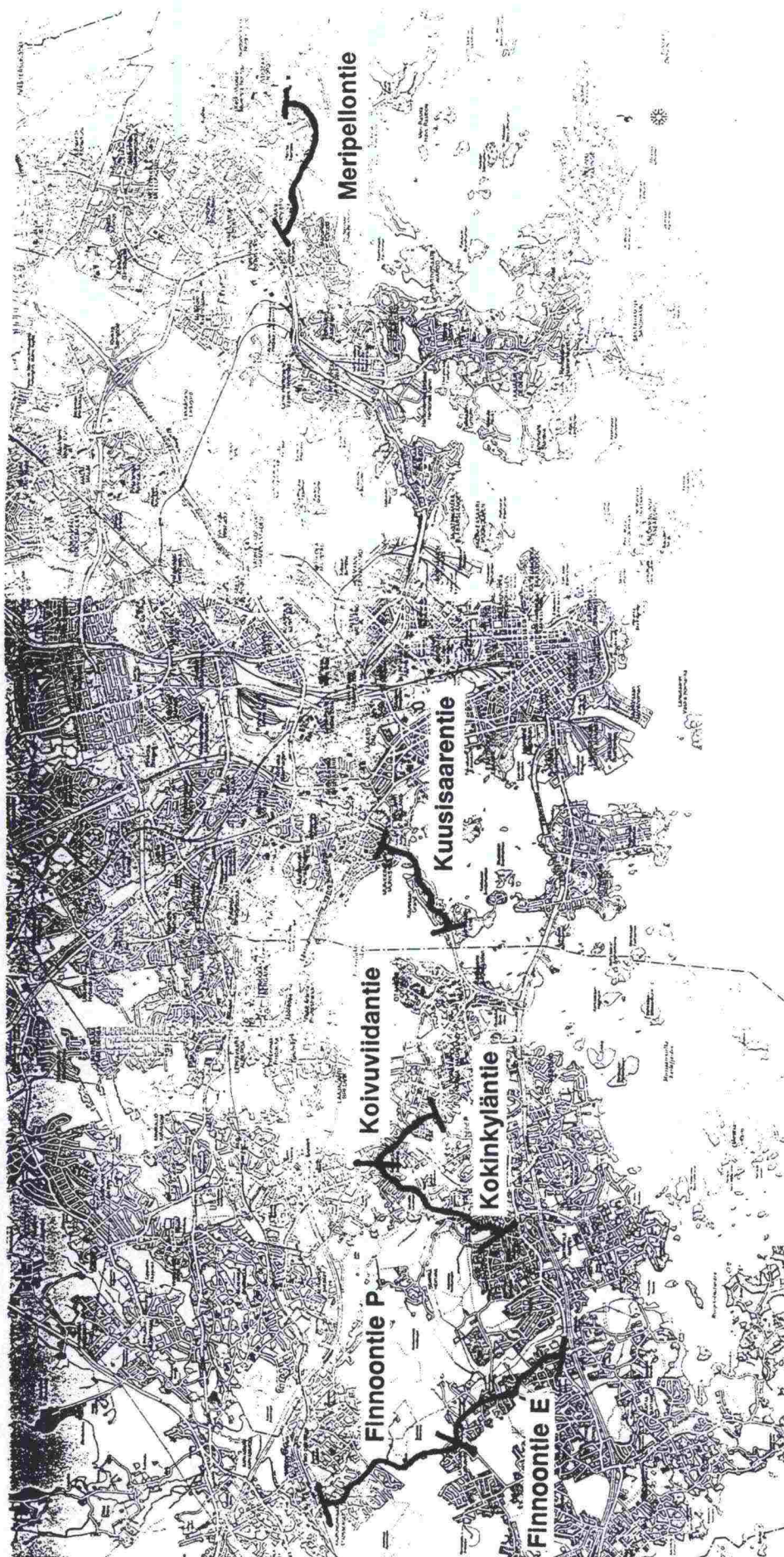
Vatanen, M. 1993. Kaupunkiliikenteen energiankulutukseen ja päästöihin vaikuttavat tekijät. Teknillinen korkeakoulu, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, liikennetekniikka. Diplomityö. Otaniemi. 117 s.

Vägverket. 1989. Effektkatalog, väg- och gatuinvesteringar. Del 16. Vägverket Publ. 1989:16. Borlänge 1989-02. 336 s. + bilagor 11 s.

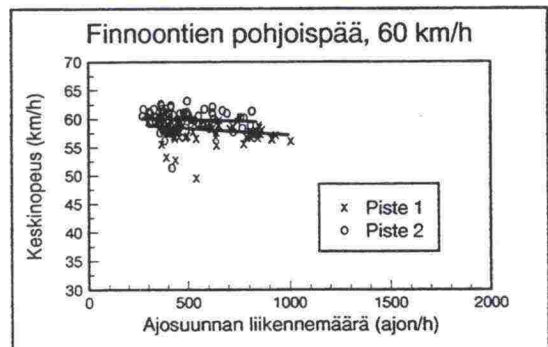
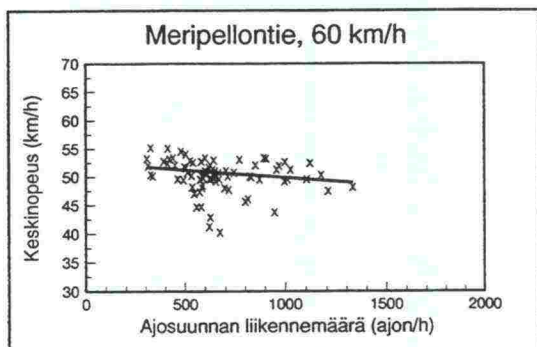
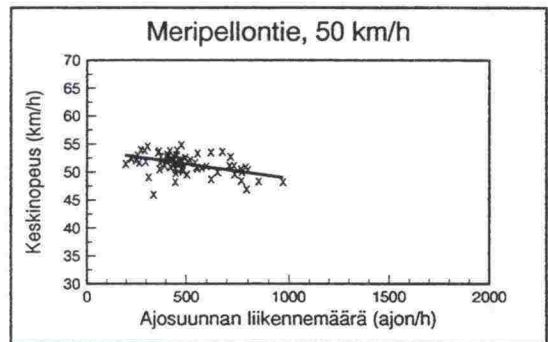
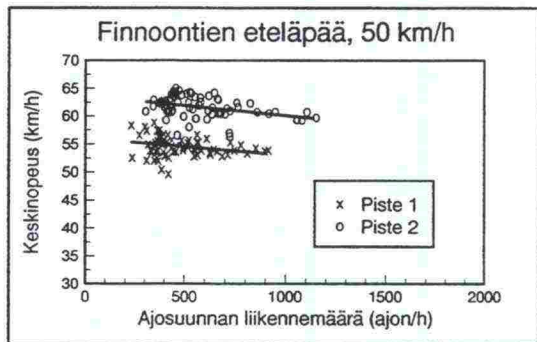
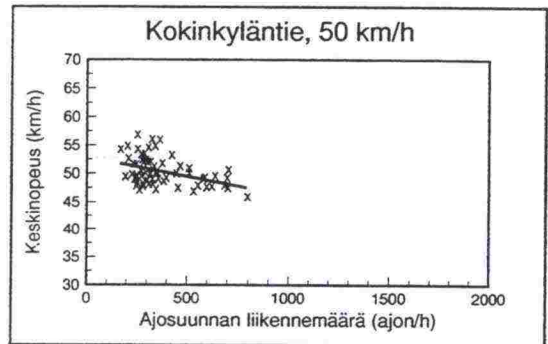
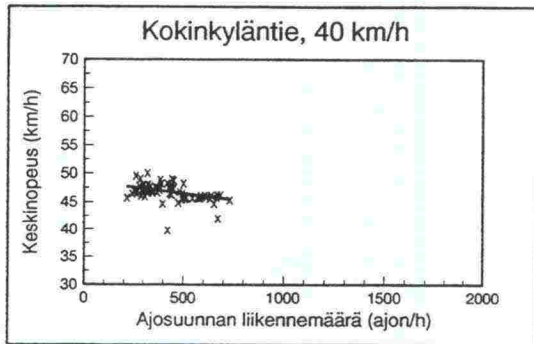
10 LIITTEET

- | | | |
|-------|----|---|
| Liite | 1. | Tutkimuskohteiden sijainti pääkaupunkiseudulla. |
| Liite | 2. | Pistenopeuden (v_s) riippuvaisuus ajosuunnan liikennemäärästä. |
| Liite | 3. | Keskimääräisen matkanopeuden riippuvaisuus ajosuunnan liikennemäärästä. |
| Liite | 4. | Ominaisuusprofiilien riippuvaisuus ajosuunnan liikennetiheydestä. |
| Liite | 5. | Nopeusprofiilit. |
| Liite | 6. | Jonoprosentin ja jonon keskipituuden riippuvaisuus ajosuunnan liikennemäärästä. |
| Liite | 7. | Tutkittaville väylille lasketut välityskyvyt. |

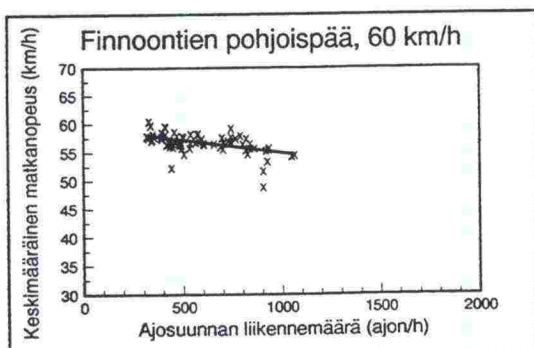
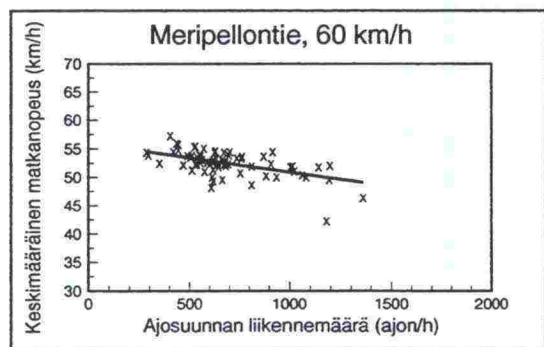
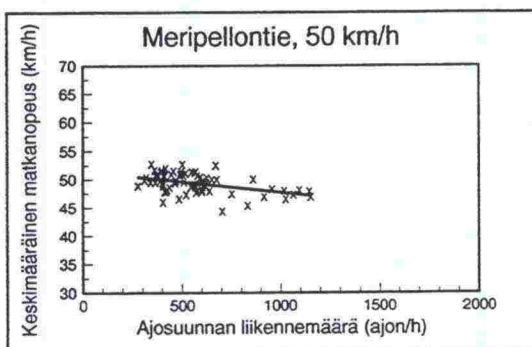
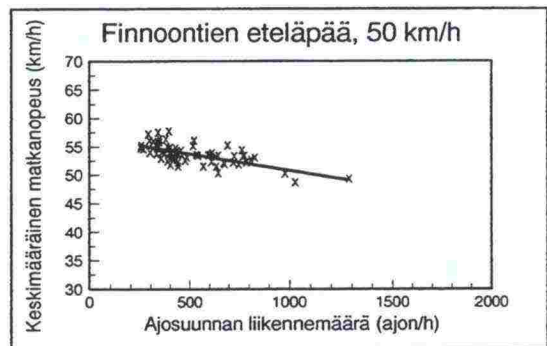
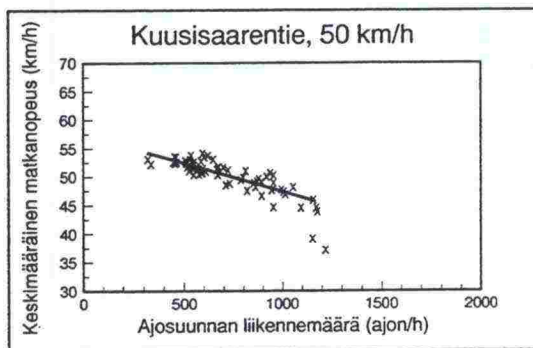
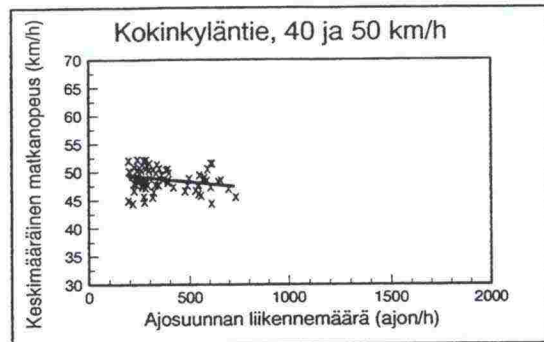
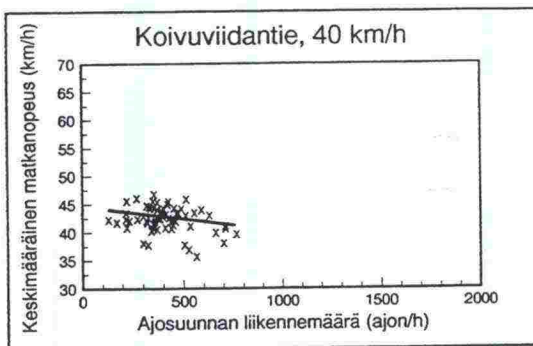
Tutkimuskohteiden sijainti pääkaupunkiseudulla



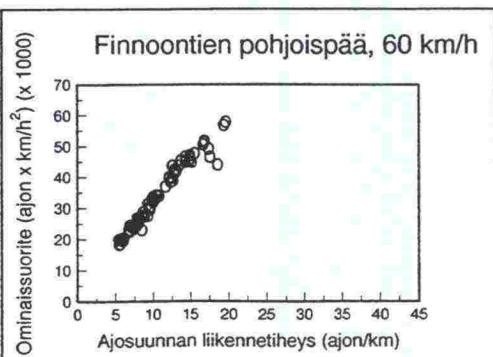
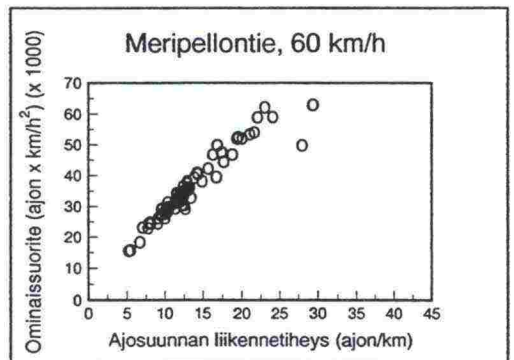
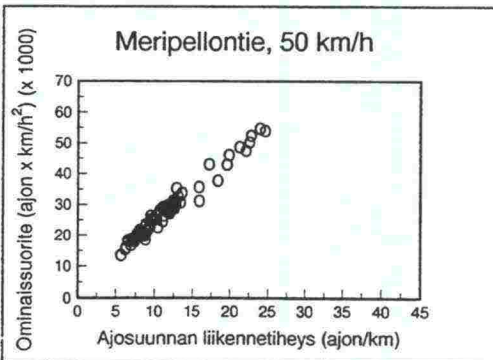
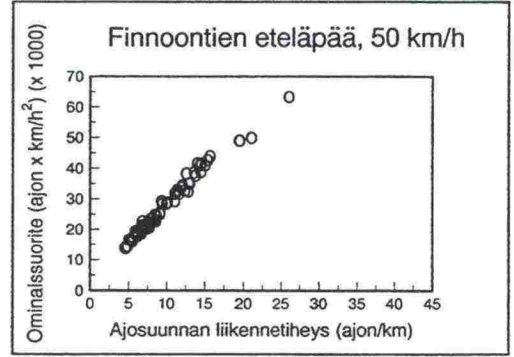
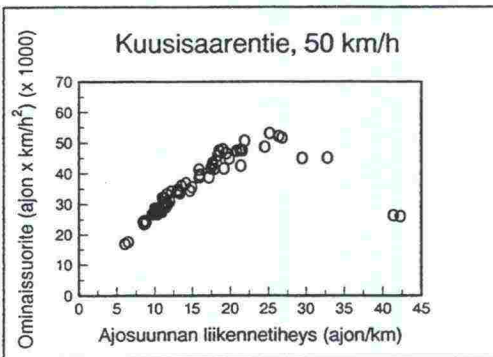
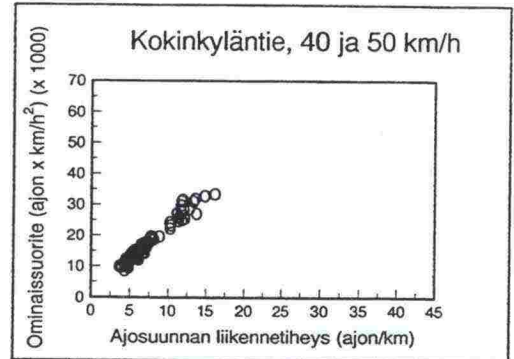
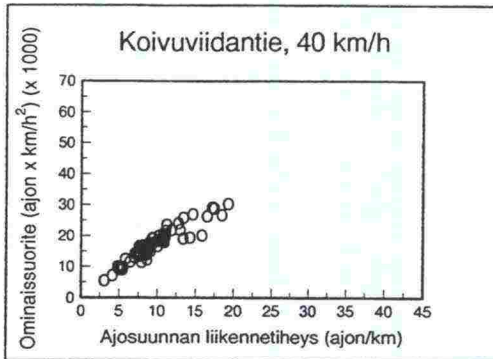
Pistenopeuden (v_s) riippuvaisuus liikennemäärästä



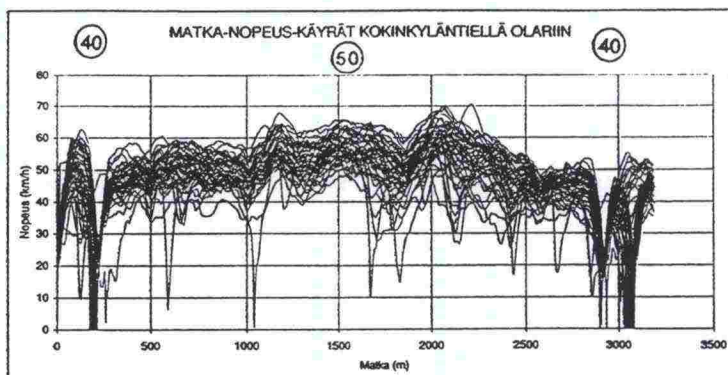
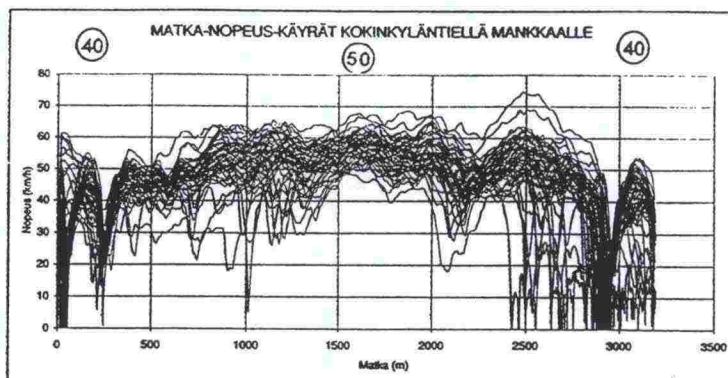
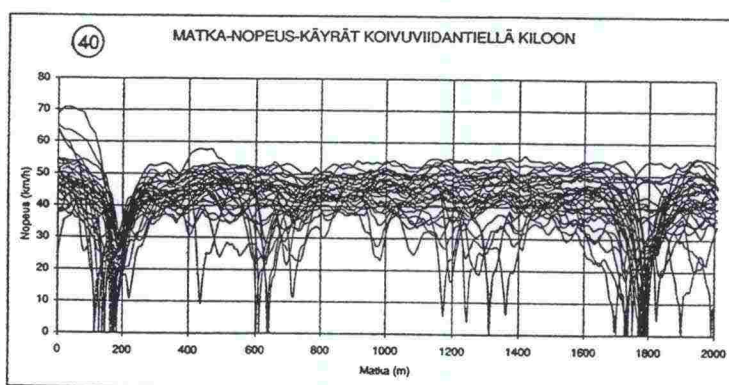
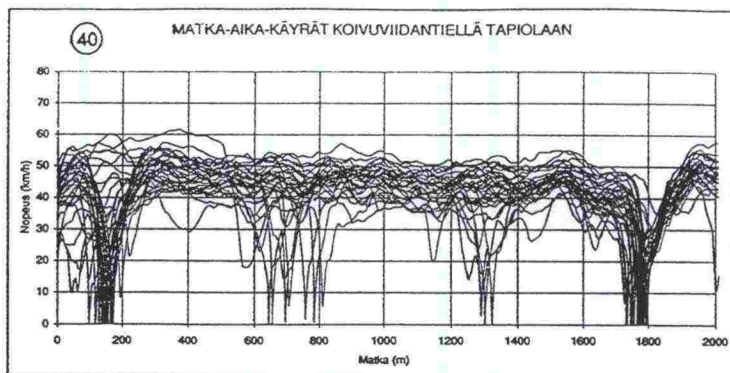
Matkanopeuden riippuvaisuus liikennemäärästä



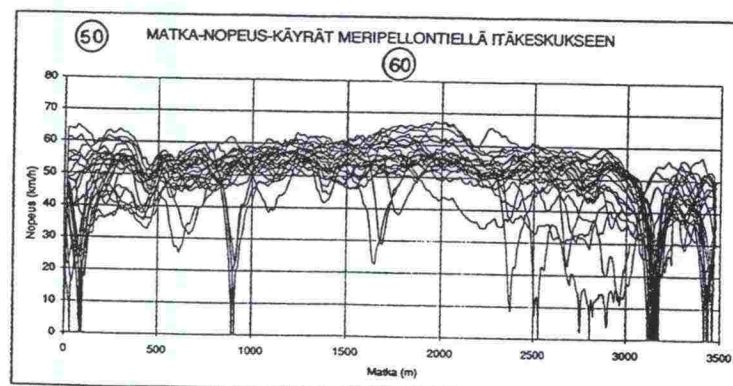
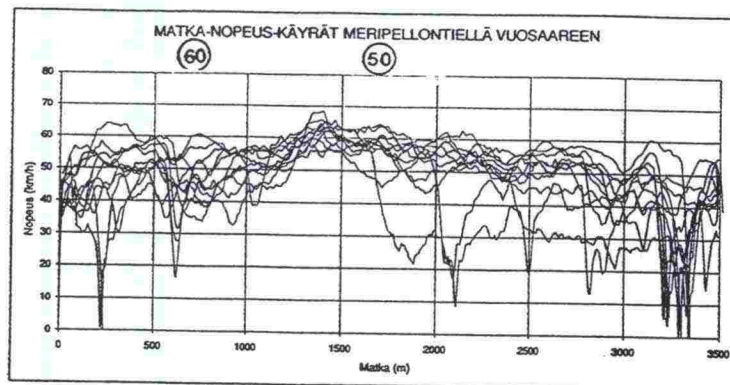
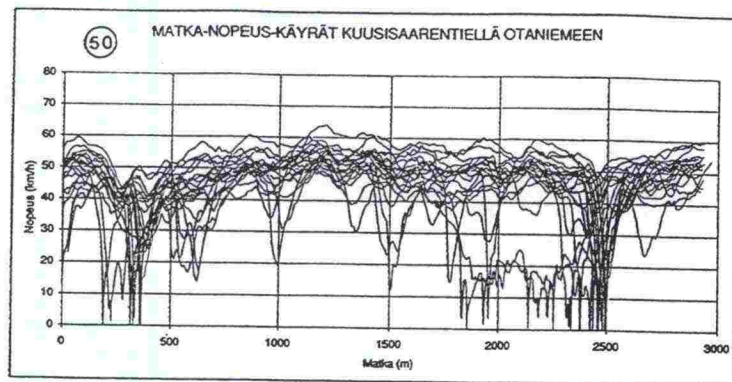
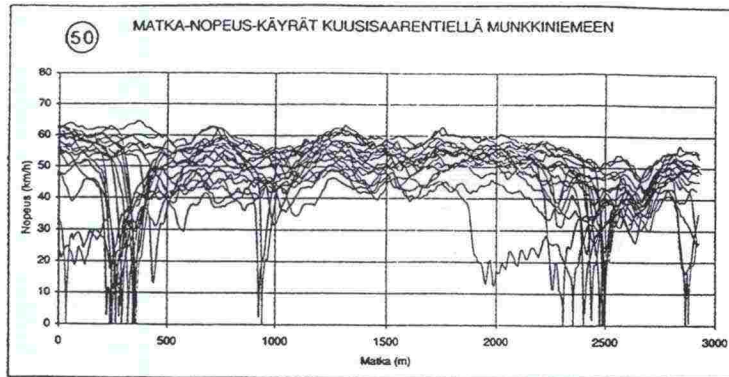
Ominaisuusarvojen riippuvaisuus liikennemäärästä



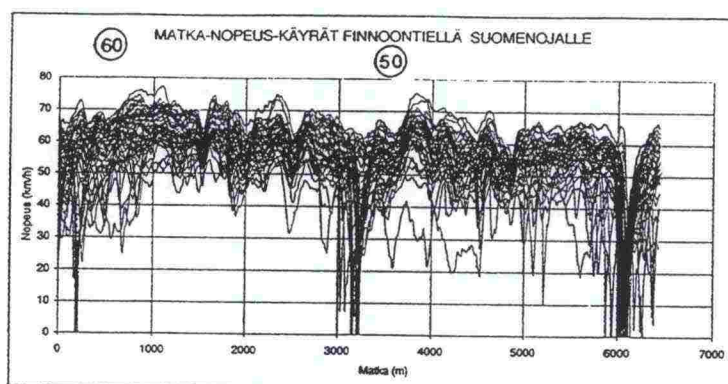
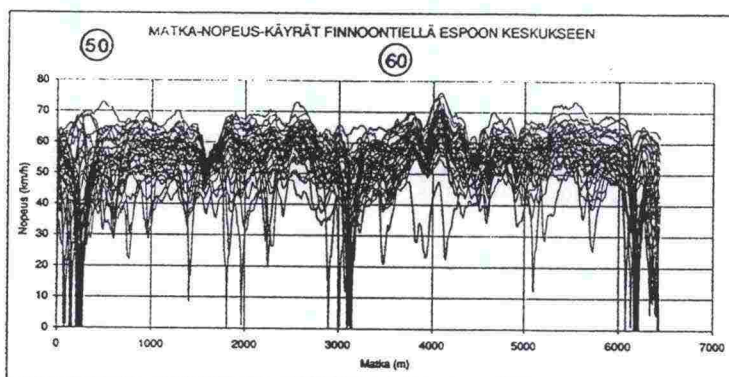
Nopeusprofiilit



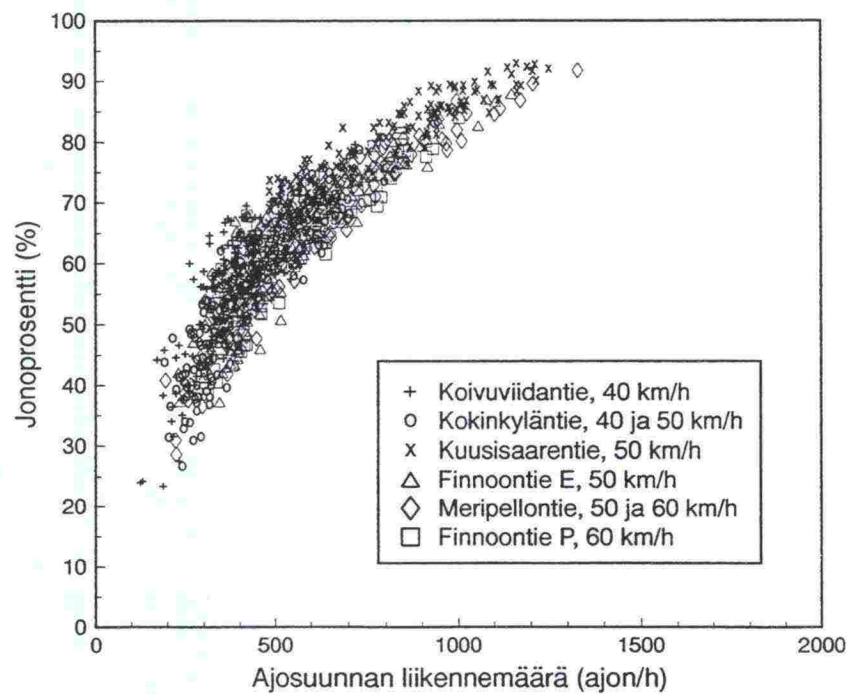
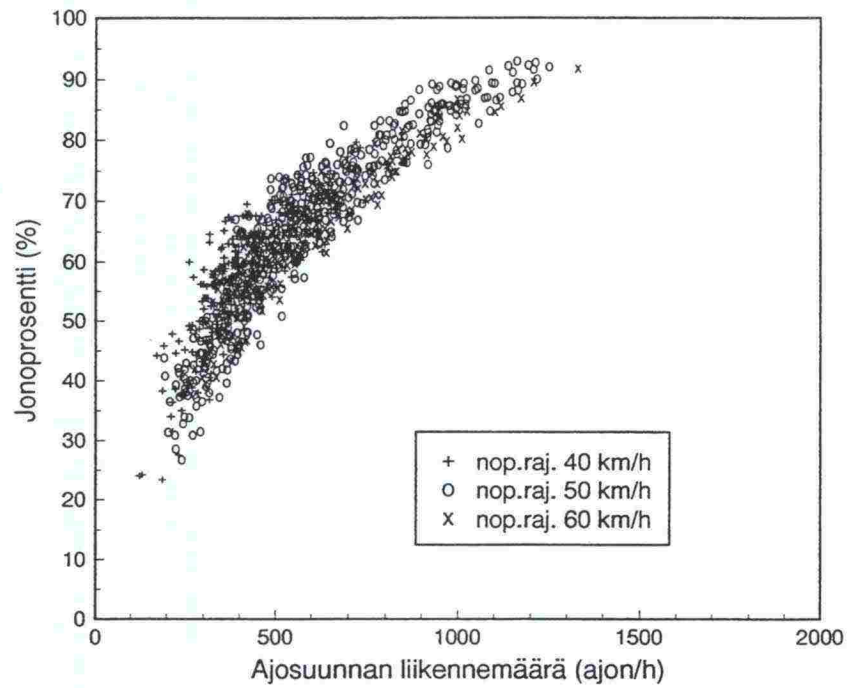
Nopeusprofiilit



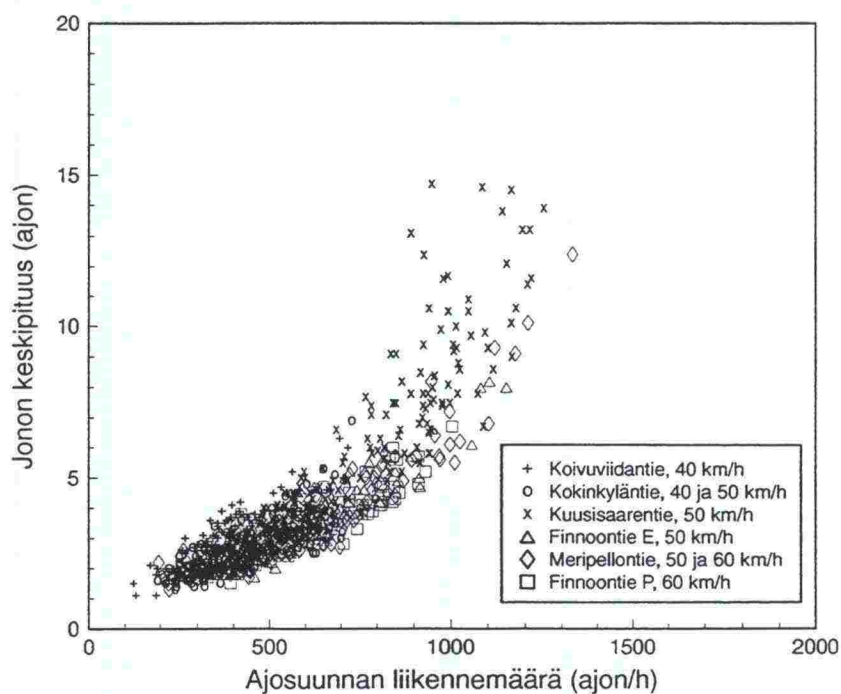
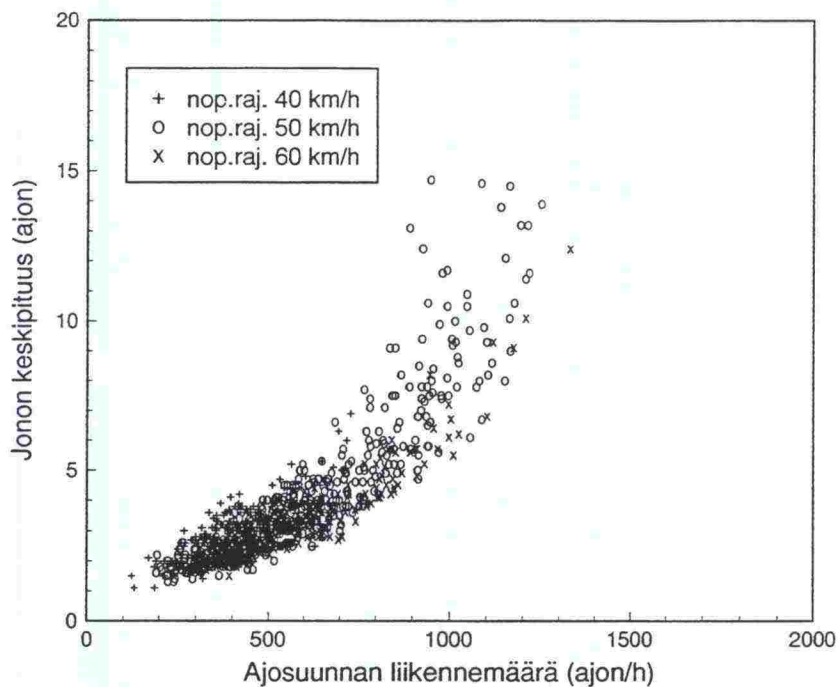
Nopeusprofiilit



Jonoprosentin riippuvaisuus liikennemäärästä



Jonon keskipituuden riippuvaisuus liikennemäärästä



Tutkittavien väylien välityskyvyt ruotsalaisen menetelmän mukaan

$$K = K_{EO} \times k_1 \times k_2 \times P_E$$

Tutkimuskohde	Välityskyvyn perusarvo (ajon/h) K_{EO}	Suunta-jakaumasta johtuva korjauskerroin k_1	Etäisyydestä sivueteisiin johtuva korjauskerroin k_2	Raskaan liikenteen korjauskerroin P_E	Koko ajoradan välityskyky (ajon/h) K
Finnoontie P	2 200	1,00	0,97	0,94	2 006
Meripellontie	2 200	0,98	1,00	0,91	1 962
Kuusisaarentie	2 150	1,00	1,00	0,95	2 043
Finnoontie E	2 150	0,98	0,99	0,93	1 940
Kokinkyläntie	2 050	0,98	0,97	0,93	1 813
Koivuviidantie	1 950	0,95	0,99	0,95	1 742

Tutkittavien väylien välityskyvyt Highway Capacity Manualin menetelmän mukaan

$$SF = 2\,800 \times v/c \times f_d \times f_w \times f_{HV}$$

Tutkimuskohde	Käyttö-suhde (v/c)	Suunta-jakauma-kerroin f_d	Leveys-kerroin f_w	Raskas-autokerroin f_{HV}	Koko ajoradan välityskyky (ajon/h) SF
Finnoontie P	0,95	0,97	0,88	0,82	1 862
Meripellontie	1,00	0,93	0,93	0,90	2 180
Kuusisaarentie	1,00	0,97	0,85	0,92	2 124
Finnoontie E	1,00	0,92	0,85	0,92	2 014
Kokinkyläntie	0,95	0,98	0,79	0,85	1 750
Koivuviidantie	1,00	0,94	0,76	0,94	1 880

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 88/1995 Remixer-stabilointi. TIEL 3200363
- 89/1995 Lauttapaikkojen palvelutaso. TIEL 3200364
- 90/1995 Lossin ohjauksoyttä korvaavat laitteistot. TIEL 3200365
- 91/1995 Heinolan ohikulkutien seurantatutkimus. TIEL 3200366
- 92/1995 Voidaanko henkilöautoliikennettä vähentää? TIEL 3200367
- 93/1995 PTM-auton mittaaman megakarkeuden soveltuvuus päällysteen tasaisuuden arviointiin. TIEL 3200368
- 94/1995 Stabiloidun maamassan leikkauslujuuden ja CPT-kairauksen välinen riippuvuus. TIEL 3200369
- 1/1996 Muuttuvien kelivaroitusmerkkien vaikutus ajonopeuksiin, aikaväleihin ja kuljettajien käsityksiin. TIEL 3200370
- 2/1996 Kestävä kehitys tiensuunnittelussa. TIEL 3200371
- 3/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - luonto. TIEL 3200372
- 4/1996 Liittymien muutostoimenpiteiden vaikutus liikennekäyttäytymiseen - pyöriteiden ylityskohdat. TIEL 3200373
- 5/1996 Uudenmaan tiepiirin liikenteen hallintakeskuksen tehtävä ja toiminnot. TIEL 3200374
- 6/1996 Tuotannon laatu-, päälly- ja routarakenteet. TIEL 3200375
- 7/1996 Terminaaliviivituksen periaatteet. TIEL 3200376
- 8/1996 Yleisten teiden ympäristön tila - taajamat. TIEL 3200377
- 9/1996 Salaojan ympärysaineiden toiminta koerakenteessa; Loppuraportti TIEL 3200378
- 10/1996 Tielaitoksen toiminnan ympäristövaikutusten indikaattorit; Viitekehys TIEL 3200379
- 11/1996 Asfalttipäällysteen tyhjätilan mittausten menetelmien vertailu. TIEL 3200380
- 12/1996 Pärjäisimmekö vuoden 1970 tieverkolla? Tieverkon kehittymisen vaikutus kuljetus- ja tuotantotalouteen sekä kaupunkirakenteeseen. TIEL 3200381
- 13/1996 Masuunihiekkastabilointi. TIEL 3200382
- 14/1996 Tieliikenteen energiankulutus ja kaupunkirakenne; Yhteyksiä eri kokoluokan taajamissa. TIEL 3200383
- 15/1996 Turve- ja puutuhkan käyttö SMA-päällysteen kuidun korjaajana, esiselvitys. TIEL 3200384
- 16/1996 Tien pohja- ja päällysrakenteet -tutkimusohjelma (TPPT). TIEL 3200385
- 17/1996 Moreenin hyötykäytön edistäminen murskausteknisin keinoin (TPPT). TIEL 3200386

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-202-7
TIEL 3200387